

doi: 10.11720/wtyht.2018.1271

赵静,梁前勇,张莉,等.基于酸解烃判别台湾海峡盆地西部坳陷含油气系统的油气藏属性[J].物探与化探,2018,42(3):436-441.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1271>

Zhao J, Liang Q Y, Zhang L, et al. Oil and gas reservoir attribute discrimination based on surface sediment acid-extraction hydrocarbon in the western depression of Taiwan Strait Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(3): 436-441. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1271>

基于酸解烃判别台湾海峡盆地西部坳陷 含油气系统的油气藏属性

赵静^{1,2}, 梁前勇^{1,2}, 张莉^{1,2}, 钟广见^{1,2}

(1. 中国地质调查局 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760; 2. 国土资源部 海底矿产资源重点实验室, 广东 广州 510760)

摘 要: 台湾海峡盆地西部被认为具有较好的油气资源前景, 而前期的研究成果仅局限于地球物理方面的资料, 尚缺少地球化学方面的信息来证实。本研究通过对该区晋江凹陷和九龙江凹陷的海底沉积物中酸解烃含量及其碳同位素组成特征进行分析, 研究该区含油气系统中烃类渗漏的地表响应, 探讨其烃类来源, 进而判别下伏油气藏属性特征, 为进一步油气勘探提供可靠的油气地球化学信息。研究结果表明, 该区烃类存在两个气体来源, 可能与研究区内的两套烃源岩有关, 源 1 以油型气为主, 源 2 则以干气为主。两个气源对研究区内两个凹陷的贡献不同, 九龙江凹陷以源 1 为主, 源 2 对该区存在一定的贡献; 而晋江凹陷则主要为源 2。

关键词: 油气化探; 含油气系统; 油气藏属性判别; 台湾海峡盆地

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2018)03-0436-06

0 引言

台湾海峡盆地发育于欧亚板块东南部的台湾海峡地体, 是位于台湾海峡及其相邻台湾西部的中、新生代叠合盆地。台湾海峡盆地的烃源岩主要为古新统(灵峰组)及始新统(瓯江组)潮坪—泻湖相泥岩和中新统海陆过渡相炭质泥岩、海相泥岩^[1-2], 其中古新统泥岩 TOC 含量为 1.26%~1.52%, Ro 为 0.6~2.4, 已处于成熟—高成熟阶段, 局部过成熟。始新统烃源岩主要为瓯江组泥岩, TOC 一般为 0.41%~2.64%, 最高可达 3.5%, 有机质类型主要为 II-III 型干酪根^[1,3]。

台湾海峡盆地的含油气系统为正常充填纵向运移中阻含油气系统, 油气地质条件较优越, 油气源充足, 各地质事件彼此匹配较好, 油气集中在凹陷边缘等油气运移距离较短的圈闭中, 如晋江凹陷的东南部和九龙江凹陷的南部圈闭^[4]。研究表明, 台湾海

峡盆地发育了古近系和中新统两套含油气系统, 盆地西部(可进一步划分出晋江凹陷、澎北凸起和九龙江凹陷)主要发育古近系含油气系统, 且具有较好的油气资源前景^[5-8]。

然而, 前人的研究成果仅局限于地球物理方面的资料。前期研究主要是在台湾海峡盆地西部区域进行系统的地球化学取样, 通过对有机地球化学指标(酸解烃、热释烃、土壤蚀变碳酸盐(ΔC)、芳烃及其衍生物总量及稠环芳烃)的测试, 分析研究区海底沉积物中烃类的赋存状态及其地表响应特征, 结果发现各项化探指标均显示该区油气渗漏活动的地表响应异常特征较明显, 具有较好的油气勘探潜力, 为指示深部油气藏的存在性提供了最直接的证据^[9]。本研究在前期研究的基础, 利用研究区海底沉积物的油气地球化学(酸解烃含量及其碳同位素组成特征)信息, 研究台湾海峡盆地含油气系统中烃类渗漏体系的地表响应, 探讨其烃类来源, 进而判

收稿日期: 2017-06-19; 修回日期: 2017-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41302099)

作者简介: 赵静(1983-), 女, 博士, 油气地球化学专业。Email: zhaojing_0315@163.com

通讯作者: 梁前勇(1983-), 男, 博士, 油气地球化学专业。Email: tomlqy@163.com

别下伏油气藏属性特征,为进一步油气勘探提供可靠的油气地球化学信息。

1 样品与实验

1.1 野外样品采集

本次台湾海峡油气地球化学研究区共部署地球

化学调查站位 160 个(图 1),主要分布于台湾海峡盆地的九龙江凹陷及晋江凹陷,以确定研究区的区域油气地球化学背景及异常特征。海上地球化学取样由上海海洋石油局第一海洋地质调查大队承担。除少数站位采用重力取样外,其余站位均采用活塞取样方式。取柱状样顶部向下 85~100cm 段沉积物样品做酸解烃含量及稳定碳同位素分析。

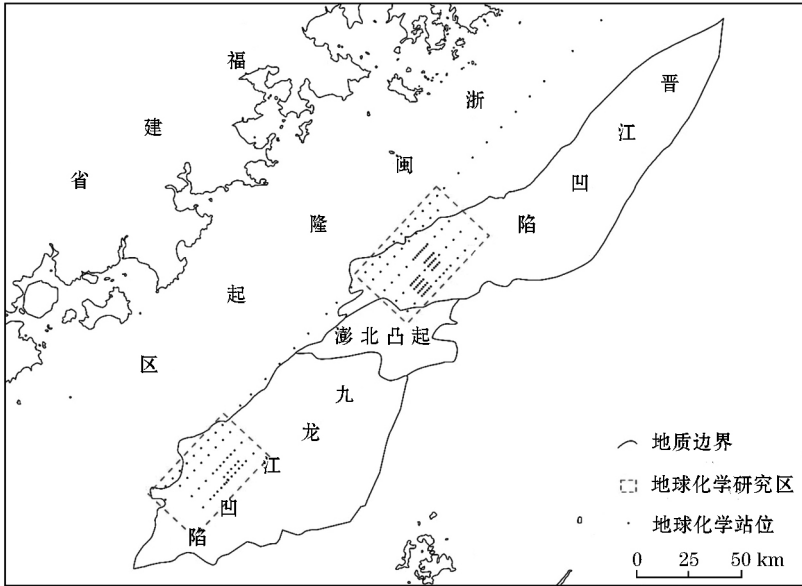


图 1 台湾海峡油气地球化学勘探研究区位置(修改自文献[9])

1.2 分析测试

海底沉积物样品预处理、酸解烃含量及其碳同位素组成等实验分析测试均按照《中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 6009-2003 油气化探试样测定方法》完成。

2 结果与讨论

2.1 酸解烃组成特征

研究区样品中酸解烃 C₁~C₅ 均有检出,其中以甲烷(CH₄)、乙烷(C₂H₆)和丙烷(C₃H₈)为主,丁烷和戊烷系列烃类含量极低,尤其是戊烷系列,只有少数样品有检出^[9]。各站位样品的酸解烃指标含量具有 CH₄>C₂H₆>C₃H₈ 的特征。整个研究区样品酸解烃甲烷含量变化范围为 1.50~258.00 μL/kg,平均值为 83.90 μL/kg,变异系数为 0.65;甲烷含量最高

值的站位位于晋江凹陷。酸解烃乙烷的含量范围为 0~25.00 μL/kg,平均值为 2.67 μL/kg,明显低于甲烷的含量,最高值位于九龙江凹陷内。酸解烃丙烷含量较酸解烃甲烷和乙烷含量更低,其变化范围为 0~18.50 μL/kg,平均值为 1.04 μL/kg,最高值同样位于九龙江凹陷。

2.2 酸解烃气体属性判别

表 1 为研究区海底沉积物样品酸解烃 C₁~C₅ 气态烃属性综合统计。九龙江凹陷 CH₄ 含量为 1.5~159.7 μL/kg,占总烃气 C₁~C₅ 含量的 55.0%~100%,属于干气(CH₄ 含量>95%)湿气(重烃 C₂₊ 含量>5%)兼有型气体,其中湿气站位比例为 37.78%。晋江凹陷的甲烷含量为 5.7~258.0 μL/kg,占总烃气体的 92.2%~99.4%,湿气站位数为总样品站位数的 29.90%,表明该区酸解烃气体以干气为主,混有少量的湿气。

表 1 台湾海峡盆地酸解烃气体含量及其属性

研究区	CH ₄ 含量/(μL/kg)	C ₁ ~C ₅ 总含量/(μL/kg)	CH ₄ 含量比例/%	湿气站位比例/%
九龙江凹陷	1.5~159.7	1.5~269.4	55.0~100	37.78
晋江凹陷	5.7~258.0	5.8~264.0	92.2~99.4	29.90
总区域	1.5~258.0	1.5~269.4	55.0~100	28.75

注:总区域包括九龙江凹陷、晋江凹陷以及这两个凹陷外测线上布设的所有站位

2.3 酸解烃气体来源判别

酸解烃含量(包括总含量和 $C_1\sim C_5$ 各组分的含量)是目前主要使用的地表油气化探指标,其参数普遍被用于气体来源的判别^[10]。根据同一油气藏中 $C_1\sim C_5$ 各组分的含量比值一定,而不同油气藏中 $C_1\sim C_5$ 各组分的含量比值不同的特征,研究区含量对比图中较好的线性关系被认为指示这些组分可能具有相同的来源,且不同的线性变化趋势反映出它们可能存在不同的烃类来源^[11-13]。

图2为研究区两个凹陷中所有样品的酸解烃不同气体含量对比图。从 $w(C_1)-w(C_2)$ 图(图2a)中可以看出,整个研究区海底沉积物样品酸解烃气体明显呈两个分布趋势,表明酸解烃气体有两个来源(源1和源2)。源1和源2的相关系数 R^2 分别为0.9994和0.8390,表明这两个来源的气体对样品的贡献都非常稳定。而在 $w(C_2)-w(C_3)$ 图中(图2b),源2的相关系数 R^2 为0.2692,表明源2中 C_2 和 C_3 的相关性较差,从而进一步表明源1中的 C_3 含量对源2中的 C_3 含量影响较大。

图3为研究区九龙江凹陷样品酸解烃不同气体

含量对比图。从 $w(C_1)-w(C_2)$ 图(图3a)可以看出,源1和源2对该区域海底沉积物样品酸解烃的贡献都非常稳定,相关系数 R^2 分别为0.9994和0.9039。在 $w(C_2)-w(C_3)$ 图中(图3b),源1和源2的相关系数 R^2 分别为0.997和0.5306,且与源1相比,源2的分布范围较小,表明九龙江凹陷海底沉积物样品酸解烃的气体来源以源1为主。

与九龙江凹陷样品相比,晋江凹陷海底沉积物样品酸解烃反映的情况则恰恰相反(图4)。 $w(C_1)-w(C_2)$ 以及 $w(C_2)-w(C_3)$ 的分布仅有一个趋势(图4a、b),且相关系数分别为0.7406和0.9101,表明该区样品酸解烃的气体主要来源于源2,源1对其的贡献几乎可以忽略。

总体而言,从酸解烃气体来源可以推断,整个研究区存在两个气体来源,推测可能来源于研究区内两套不同的烃源岩。这两个气源对研究区的两个凹陷的贡献不同,九龙江凹陷以源1为主,源2对该区存在一定的贡献;而晋江凹陷则主要为源2,源1对该凹陷海底表层沉积物样品酸解烃的贡献很小。

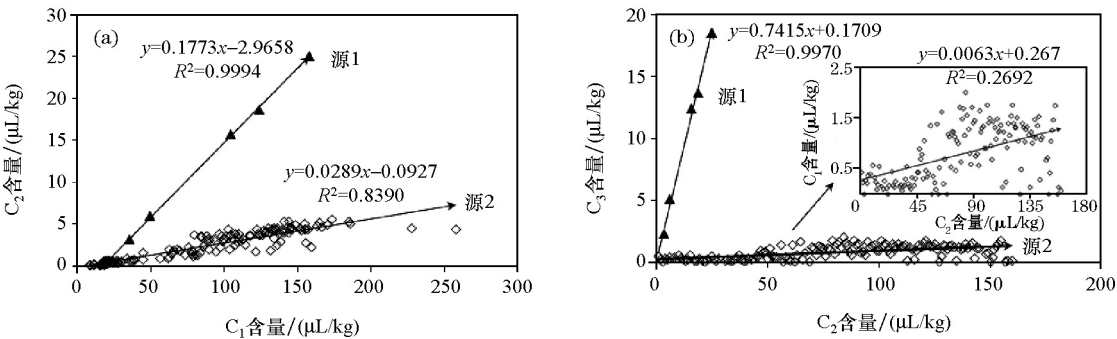
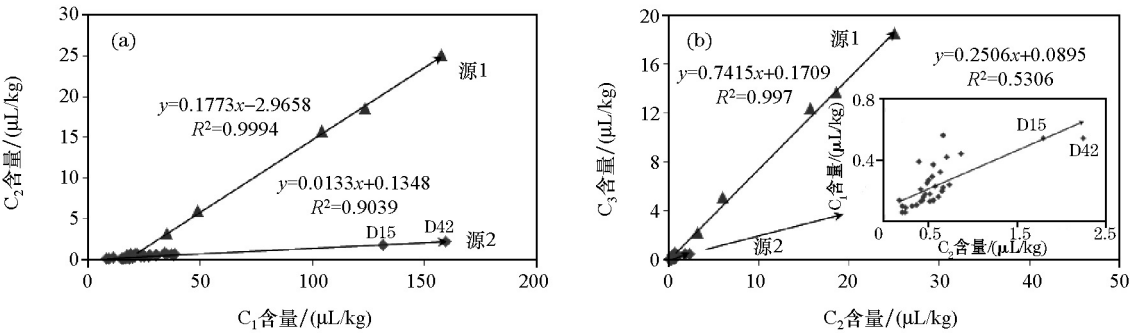


图2 台湾海峡盆地样品酸解烃 $w(C_1)-w(C_2)$ (a)和 $w(C_2)-w(C_3)$ (b)含量对比



注:源1的5个异常点从上到下依次为D26、D16、D9、D7和D21站位,源2的2个异常点从左到右依次为D15和D42站位

图3 九龙江凹陷样品酸解烃 $w(C_1)-w(C_2)$ (a)和 $w(C_2)-w(C_3)$ (b)含量对比

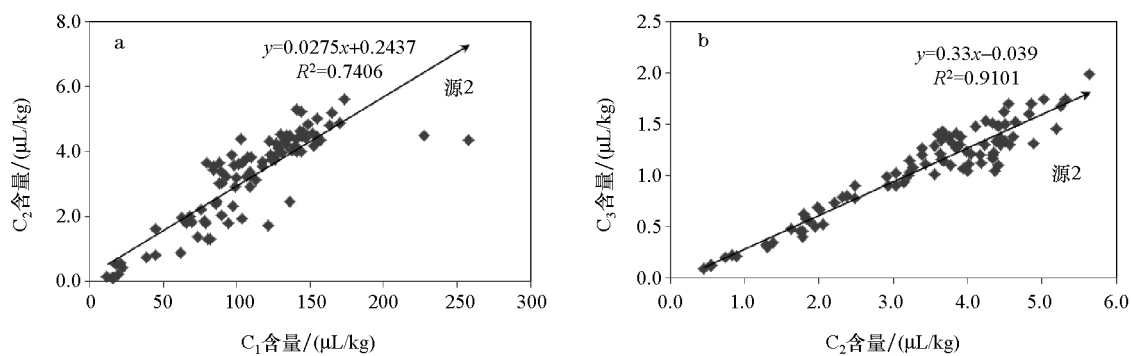


图 4 晋江凹陷样品酸解烃 $w(C_1)-w(C_2)$ (a) 和 $w(C_2)-w(C_3)$ (b) 含量对比

2.4 下伏油气藏属性判别

2.4.1 利用酸解烃气体含量判别下伏油气藏属性

$w(C_1)/[w(C_2)+w(C_3)]-w(C_2)/[w(C_3)+w(C_4)]$ 十字交叉图可以很好地反应酸解烃气体及其下伏油气藏的属性^[14]。从研究区所有酸解烃样品中重烃异常点的 $w(C_1)/[w(C_2)+w(C_3)]-w(C_2)/[w(C_3)+w(C_4)]$ 对比图(图 5)可以看出,九龙江凹陷酸解烃异常点在图中分布于油型气区(OIL)和单一的干气区(SINGLE DRY GAS),其中图 3 中源 1 的 5 个异常点(D7、D9、D16、D21 和 D26 站位)均位于油型气区(OIL),而另外 2 个异常站位(D15 和 D42 站位)则位于干气区(SINGLE DRY GAS)。晋江凹陷的酸解烃异常点在图中均分布于干气区

(SINGLE DRY GAS) 及与凝析油区 (CONDENSATE) 的交界处,表明晋江凹陷的酸解烃气体来源以凝析油—干气为主。

结合前面讨论的酸解烃气体的两个来源,以及酸解烃气体属性判别图 ($w(C_1)/[w(C_2)+w(C_3)]-w(C_2)/[w(C_3)+w(C_4)]$ 十字交叉图)的结果可以推断,台湾海峡研究区表层海底沉积物酸解烃气体存在两个烃源,其一为油型气,其二为单一的干气源。这两个源区的气体对九龙江凹陷的表层沉积物都有贡献,且以油型气为主,兼有少量的干气,而晋江凹陷的表层沉积物样品则主要来源于干气源;推测两个烃源可能是来自研究区内的两套不同的烃源岩。

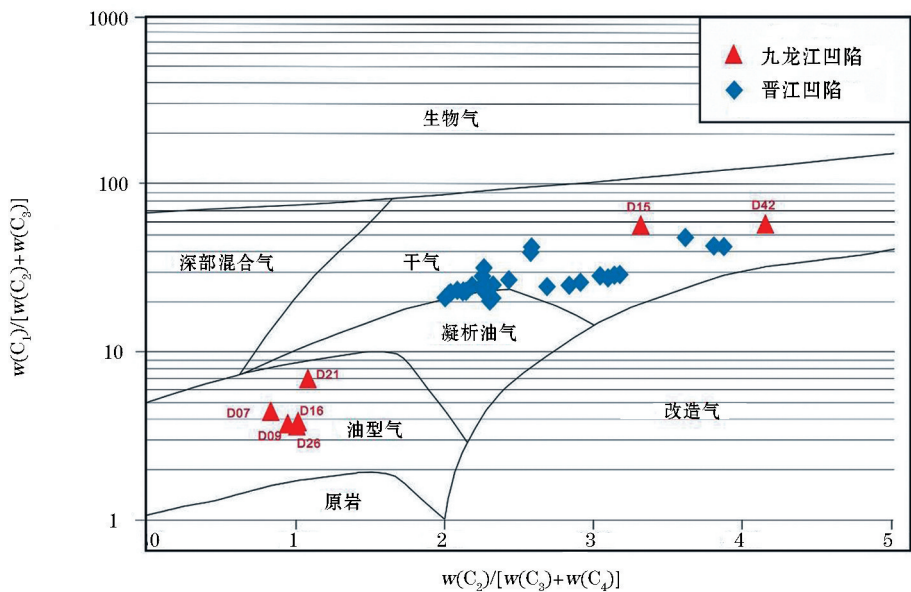


图 5 $w(C_1)/[w(C_2)+w(C_3)]-w(C_2)/[w(C_3)+w(C_4)]$ 对比(原版图引自文献[14])

2.4.2 利用酸解烃气体稳定碳同位素判别下伏油气藏属性

天然气甲烷稳定碳同位素为石油天然气属性判别的直接依据。因此,根据不同成因天然气甲烷的

稳定碳同位素比值分布情况^[15],可以直接对油气化探介质中的甲烷指标的来源进行准确的判别。

整个台湾海峡研究区样品酸解烃甲烷的 $\delta^{13}C$ 值范围为 $-17.5\text{‰} \sim -34.5\text{‰}$,属于深源气—热成因

气(煤型气和油型气)范畴,其中九龙江凹陷海底表层沉积物样品酸解烃甲烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 $-17.5\text{‰} \sim -31.6\text{‰}$,属于深源气—煤型气范畴,代表这两种气体的混合;而晋江凹陷样品的酸解烃甲烷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 $-21\text{‰} \sim -34.5\text{‰}$,属于煤型气和油型气(裂解气)范畴,且以煤型气为主。

2.4.3 结合酸解烃气体含量及稳定碳同位素判别下伏油气藏属性

甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 $w(\text{C}_1)/[w(\text{C}_2)+w(\text{C}_3)]$ 比值通常被用于判别气体的成因类型^[16],而借助天然气甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 $w(\text{C}_1)/[w(\text{C}_2)+w(\text{C}_3)]$ 比值经验

版图可以进一步准确地判别酸解烃气体属性。

图6为研究区所有站位酸解烃重烃(C_{2+})异常点的甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 $w(\text{C}_1)/[w(\text{C}_2)+w(\text{C}_3)]$ 关系图。从图中可以看出,九龙江凹陷的D15站位和D42站位位于煤型气(煤成气)偏向油型裂解气和煤成气区,其他5个异常站位则位于无机气范畴;而晋江凹陷的所有异常站位均位于凝析油伴生气和煤成气及煤成气的结合部位。由此表明九龙江凹陷的气源有两个(无机气和煤成气),而晋江凹陷酸解烃气体的来源为凝析油伴生气和煤成气。

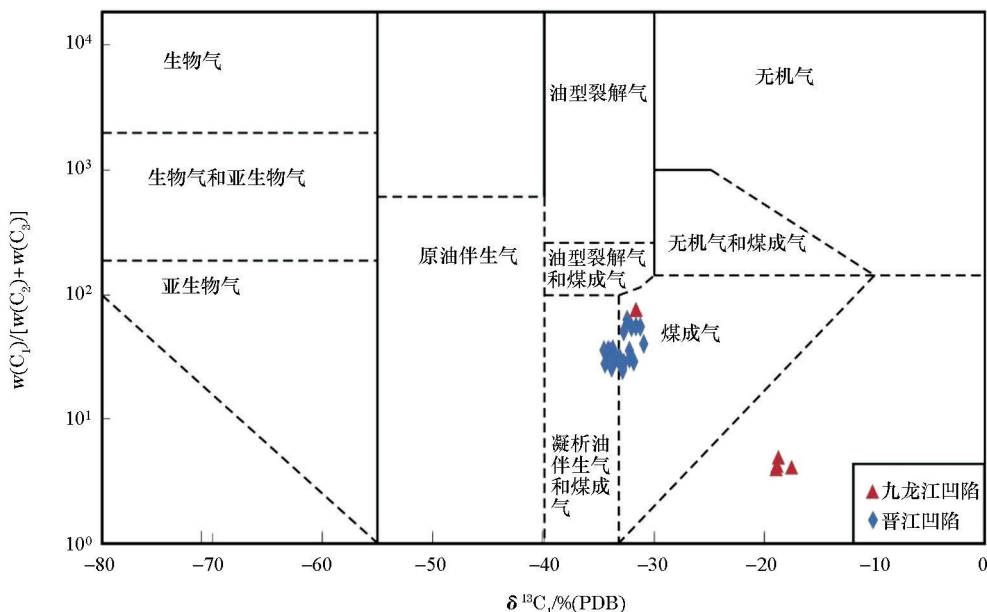


图6 甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 $w(\text{C}_1)/[w(\text{C}_2)+w(\text{C}_3)]$ 关系((原版图引自文献[15])

3 结论

1) 台湾海峡盆地西部坳陷晋江凹陷和九龙江凹陷含油气系统中存在两个气体来源。源1以油型气为主,源2以干气为主;其中源1为无机气和煤成气的混合气,源2为凝析油伴生气和煤成气的混合气。

2) 两个气源对研究区晋江凹陷和九龙江凹陷的贡献不同。九龙江凹陷以源1为主,源2对该区存在一定的贡献;而晋江凹陷则主要为源2,源1对该凹陷海底表层沉积物样品酸解烃的贡献很小。两个气源可能与研究区内存在的两套烃源岩有关。

致谢:本次油气地球化学勘探的酸解烃指标(含量及稳定碳同位素比值)由中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所分析测试,感谢李武高级工程师和陈英伟高级工程

师在数据处理方面给予的帮助。

参考文献:

- [1] 萧宝宗,林国安,罗仕荣.东引岛盆地油气潜能评估[J].台湾石油地质,1991,26(6):183-213.
- [2] 俞何兴,陈汝勤.台湾海域之沉积盆地[M].台北:渤海堂文化事业公司,1996.
- [3] 翁荣南,吴素慧.台湾海域K地块油样品中类萜烷及类固醇之地化研究[J].台湾石油地质,1992,27(12):129-152.
- [4] 刘振湖,王英民,邓安雄,等.台湾海峡盆地油气地质条件与含油气系统研究[J].石油实验地质,2006,28(6):523-528.
- [5] 钟建强,黄慈流,詹文欢.台湾海峡沉积盆地的演化与油气远景[J].东海海洋,1994,12(1):31-38.
- [6] 钟建强,黄慈流,詹文欢,等.台湾海峡新生代沉积盆地的演化[J].中国海上油气:地质,1994b,8(3):163-170.
- [7] 朱伟林,王国纯.中国近海前新生代油气勘探新领域探索[J].地质前缘,2000,7(3):215-226.
- [8] 刘振湖,王英民,王海荣.台湾海峡盆地的地质构造特征及演化[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(5):69-75.

[9] 赵静,梁前勇,张莉,等.台湾海峡盆地西部坳陷油气地球化学特征及其勘探远景评价[J].物探与化探,2015,39(4):657-664.

[10] 蒋涛,张恒启,汤玉平,等.化探技术在隐蔽油气藏勘探中的应用[J].天然气地球科学,2009,20(5):801-807.

[11] Belt Jr J Q, Rice G K.Application of statistical quality control measures for near-surface geochemical petroleum exploration [J].Computers & Geosciences, 2002, 28(2): 243-260.

[12] Kumar B, Patil D J, Kalpana G, et al.Geochemical prospecting of hydrocarbons in Frontier basins of India [C]//American Association of Petroleum Geologists annual convention. Dallas, Texas; AAPG, 2004:18-21.

[13] 梁前勇,熊永强,赵克斌,等.高精度地表油气化探技术的发展及应用——以济阳凹陷垛石桥地区土壤酸解烃为例[J].地球化学,2014,43(2):141-148.

[14] Von der Dick H, Wyman R E, Bosman D A.Unmixing of complex soil gas hydrocarbons: concepts and application for hydrocarbon exploration (abstr) [C]//American Association of Petroleum Geologists Hedberg Research Conference, Near-Surface Expression of Hydrocarbon Migration.Vancouver, B.C., Proceedings, 1994.

[15] 王国建,程同锦,汤玉平,等.地表化探中甲烷稳定碳同位素的应用及存在问题[J].物探与化探,2008,32(5):549-552.

[16] 戴金星,裴锡古,戚厚发.中国天然气地质学[M].北京:石油工业出版社,1992.

Oil and gas reservoir attribute discrimination based on surface sediment acid-extraction hydrocarbon in the western depression of Taiwan Strait Basin

ZHAO Jing^{1,2}, LIANG Qian-Yong^{1,2}, ZHANG Li^{1,2}, ZHONG Guang-Jian^{1,2}

(1. Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510760, China; 2. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, China)

Abstract: Taiwan Strait basin is commonly regarded as a good petroleum-bearing area. However, the previous studies were all focused on the data from geophysics, with no direct evidence from petroleum geochemistry to prove the existence of economic oil or gas reservoirs in these areas with good petroleum prospects. In this study, the concentrations and carbon isotope ratios of the soil acid-extraction hydrocarbon from the sea surface sediments in Jinjiang depression and Jiulongjiang depression of west Taiwan Strait basin were analyzed to study the microseepage and origins of the petroleum-baring system, with the purpose of providing the proven geochemical information for petroleum exploration. The result of surface geochemical exploration for oil and gas in the west Taiwan Strait basin indicates that there exist two kinds of hydrocarbon resources: one is oil-gas and the other is single dry gas, probably related to two suites of source rocks in this area. These two kinds of resources make different contributions to the two depressions in the study area, where hydrocarbon of the Jiulongjiang depression is mainly from source 1, and source 2 mainly contributes to the hydrocarbon reservoir of Jinjiang depression.

Key words: surface geochemical exploration for oil and gas; petroleum-baring system; attribute discrimination; Taiwan Strait Basin

(本文编辑:蒋实)