

文章编号: 0253-9985(2007)02-0293-06

北部湾盆地原油地球化学特征与成因类型

包建平¹, 刘玉瑞², 朱翠山¹, 倪春华³

(1. 长江大学 油气资源与勘探技术重点实验室 地球化学系, 湖北 荆州 434023

2. 中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 地质科学研究院, 江苏 扬州 225009

3. 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, 江苏 无锡 214151)

摘要: 通过对北部湾盆地不同凹陷典型原油样品烃类组成特征的定量分析, 发现盆地北部的涠西南凹陷所产原油中三环萜烷系列、藿烷系列和甾烷系列等生物标志物的浓度偏高, 而芳烃浓度则明显偏低; 但对于盆地南部的福山凹陷和迈陈凹陷的原油而言, 则表现为三环萜烷系列、藿烷系列和甾烷系列等生物标志物的浓度偏低, 而芳烃浓度则明显偏高的特征, 表明该盆地北部和南部在沉积环境的性质和烃源岩的地球化学特征等方面存在显著差异。依据原油中甾、藿烷系列的浓度与芳烃浓度间的关系, 可以确定不同凹陷所产原油的成因类型, 结果表明, 北部的涠西南凹陷和南部福山凹陷与迈陈凹陷的原油分属不同的成因类型, 而乌石凹陷的原油则介于两者之间, 显示过渡类型的特征。

关键词: 生物标志物浓度; 芳烃浓度; 原油; 成因类型; 北部湾盆地

中图分类号: TE112 322 **文献标识码:** A

Geochemical characteristics and genetic types of crude oils

Bao Jianping¹, Liu Yurui², Zhu Cuishan¹, Ni Chunhua³

(1. Key Laboratory of Oil & Gas Resource and Exploration Technology, Geochemistry Department, Yangtze University,

Jingzhou, Hubei 434023 2. Geoscience Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou,

Jiangsu 225009 3. The Wuxi Branch of Research Institute of Petroleum Exploration

and Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu, 214151)

Abstract Quantitative analyses on hydrocarbon components of typical crude samples from different depressions of Beibuwan basin indicate that the samples from the Weixinan depression in the northern part of the basin have higher concentrations of biomarkers in tricyclic terpanes, hopanes and steranes, and that from the Fushan depression and Maichen depression in the southern part of the basin have relatively lower concentration of the biomarkers, but higher concentration of aromatic hydrocarbons. It suggests that the depositional environment and geochemical characteristics of source rocks vary dramatically in the northern and southern parts of the basin. The distribution of hopanes, steranes and aromatic hydrocarbons can be used in the establishment of the genetic types of crude oils from different depressions of the basin. The results show that the genetic types of crude oils from the Weixinan depression and from the Fushan and Maichen depressions are different, and that the crude oils from the Wushi depression is an intermediate type with transitional features.

Key words biomarker concentration; aromatic hydrocarbon concentration; crude oils; genetic types; Beibuwan basin

北部湾盆地是一个中、新生代板内块断盆地, 已知面积 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中海上和陆上面积分别为 $1.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1-6], 由 12 个

二级构造单元组成 (图 1)。就其沉积特征而言, 古近系属湖相沉积, 而新近系则属海相沉积, 新生界累计最大厚度可达 7 000 m, 目前在古近系

收稿日期: 2006-12-25

第一作者简介: 包建平 (1962-), 男, 博士、教授, 石油地质与油气地球化学

基金项目: 国家“十五”重点科技攻关项目 (2001BA605A02-03-02-04) 资助

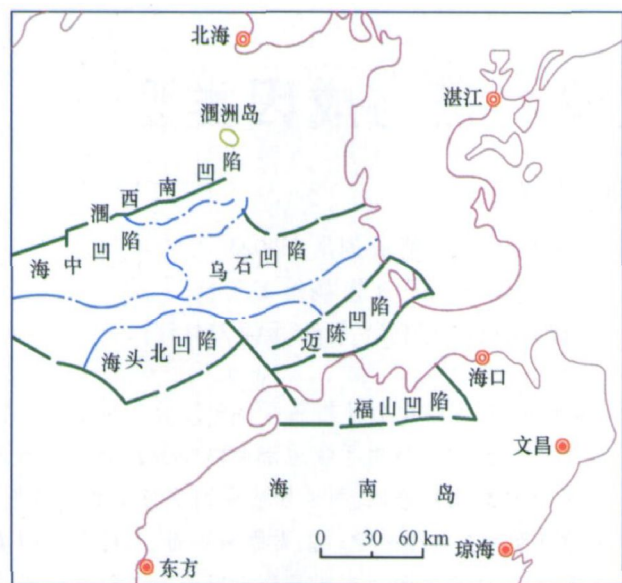


图 1 北部湾盆地二级构造单元的划分
(引自胡平忠等修改, 1981)

Fig. 1 Second-order tectonic units in Beibuwan Basin
(from Hu pingzhong et al., 1981)

和新近系砂岩储层中均发现有油气^[7]。不同凹陷烃源岩发育层位存在一些差异,如涠西南凹陷主要发育有古近系渐新统的流沙港组和涠洲组两套烃源岩,而福山凹陷和迈陈凹陷只发育渐新统流沙港组一套烃源岩。

从沉积特征上,自北向南也呈现出明显的变化。如北部的涠西南凹陷始新统-渐新统均属湖相沉积,发育有流沙港组和涠洲组两套烃源岩,这两套烃源岩中富含藻类,其有机质类型偏腐泥型;向南至福山凹陷,尽管其始新统-渐新统也属湖相沉积,但只发育流沙港组一套烃源岩,但烃源岩中陆源有机质供应十分充分,其有机质属于混合型。

勘探实践表明,北部湾盆地油气资源十分丰富,目前已在涠西南凹陷、海中凹陷、乌石凹陷、福山凹陷、迈陈凹陷发现有油气,但不同凹陷所产油气性质变化较大。北部湾盆地原油地球化学特征^[8-9]前人进行了研究工作。本文旨试图从原油中生物标志物、芳烃浓度和原油碳同位素的角度,分析不同凹陷所产原油的地球化学特征,对比其异同,探讨其原因,明确其地球化学意义,以利指导该地区的油气勘探。

1 样品与实验分析条件

在北部湾盆地不同凹陷选择了 12 个典型的

原油样品,由于不同凹陷勘探程度存在明显差异,有的凹陷目前只有一口探井获得油流如迈陈凹陷,所以原油样品在不同凹陷中的分布也是不均衡的,其中乌石凹陷和迈陈凹陷分别获得了一个原油样品,而目前主要的产油区福山凹陷和涠西南凹陷分别采集了 5 个原油样品。

要对原油中的生物标志物和芳烃化合物的浓度进行定量研究,必须要选择合适的标样。但使定量结果确实能客观地反映原油中甾萜烷和芳烃化合物的浓度,必须选择结构特征和质谱断裂规则与所分析化合物相近的内标化合物。这里,我们选用国内外经常使用的全氘化的 C_{24} 正构烷烃、1,2,3,4-四氘化胆甾烷和 1,2,3,4,5,6,7,8-八氘化二苯并噻吩分别对正构烷烃系列与植烷系列、甾萜烷和芳烃化合物进行定量分析,在此基础上对比不同凹陷原油中各类甾萜烷的浓度特征。

2 原油中各类生物标志物的浓度特点

2.1 链烷烃系列浓度

原油中主要的链烷烃包括正构烷烃系列和植烷系列,在没有遭受生物降解改造的情况下,它们也是原油中的优势组分。定量结果表明,北部湾盆地不同凹陷中的原油这两大类化合物的浓度存在一定差异。如表 1 所示,盆地北部的涠西南凹陷和乌石凹陷所产原油中正构烷烃系列和植烷系列的浓度较高,分别为 $450 \sim 550 (\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1})$ 和 $50 \sim 65 (\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1})$ g 而南部的福山凹陷和迈陈凹陷原油中这两个系列的浓度明显偏低,分别为 $300 \sim 400 \mu\text{g}$ 和 $20 \sim 30 \mu\text{g}$ 。

由于正构烷烃系列的生物来源十分多样,不仅低等生物菌藻类,而且陆源有机质均可成为其原始的生物来源。但是从不同来源的有机质所含正构烷烃系列的浓度而言,显然低等生物的贡献大于陆源有机质^[10],因为煤系地层中正构烷烃系列的浓度均是很低的^[11]。不同凹陷原油中正构烷烃系列浓度的差异可能也暗示着各自烃源岩沉积环境的性质和有机质的原始生源构成不尽相同。

对于非盐湖环境沉积体而言,植烷系列主要来源于叶绿素 a 的植醇侧链的成岩演化^[12]。研

表 1 不同凹陷原油中链烷烃系列浓度

Table 1 Alkane concentrations in crude oils from different depressions in Beibuwan basin($\mu\text{g}/\text{mg oil}$)				
凹陷	井号	深度 /m	植烷浓度 /($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)	正构烷烃浓度 /($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)
迈陈凹陷	徐闻 X1	3 692.8~3 698.2	27.573 4	417.086 5
	花 1-1	3 465.6~3 528.5	21.753 4	395.531 6
福山凹陷	花 2-2		52.661 3	631.842 4
	花 3-3		22.713 2	326.704 7
	花东 1		24.069 9	319.691 7
	涠 10-3-3	2 112.0~2 127.0	56.895 3	478.227 0
涠西南凹陷	涠 10-3-4	2 144.0~2 147.5	50.244 7	455.463 0
	涠 10-3-1	1 908.0~1 923.5	114.392 0	494.475 4
	湾 1		64.520 6	380.348 4
	湾 2		56.016 7	548.045 7
乌石凹陷	乌 16-1-2	3 019.0~3 048.5	56.597 4	531.489 0

究结果表明以低等生物藻类为主要原始生烃母质的烃源岩似乎相对富含植烷系列^[10],而煤系地层一般以低含植烷系列为特征^[11]。北部湾盆地不同凹陷原油中植烷系列浓度的差异可能也与各自烃源岩形成的沉积环境和原始生烃母质不同有关,而不同凹陷原油生物标志物的研究结果已经表明北部凹陷原油富含来源藻类的C₃₀4-甲基甾烷,而南部凹陷的原油中则富含来源高等植物的奥利烷^[12]。

2.2 三环萜烷系列

对北部湾盆地不同凹陷中的原油而言,其三环萜烷系列的分布特征存在明显差异^[12],这一在三环萜烷系列的浓度上也得到了反映。如图 2 所示,该盆地北部凹陷原油中三环萜烷系列的浓度明显高于南部凹陷的原油,前者大于 0.10($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$),且绝大多数为 0.40~0.50($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$),而后者则均小于 0.10($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$),而且呈现出自北向南原油中三环萜烷系列的浓度逐渐下降的变化趋势。

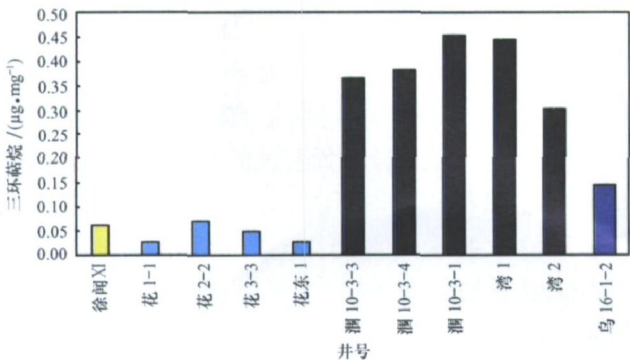


图 2 不同凹陷原油中三环萜烷系列浓度分布特征
Fig.2 Tricyclic terpane concentrations in crude oils from different depressions in Beibuwan basin

三环萜烷系列,尤其是其中 C₂₆⁺长链成员主要来源于低等生物藻类,那么其含量的高低与烃源岩形成的沉积环境和原始生烃母质密切相关。北部凹陷原油中高浓度三环萜烷系列的存在,暗示着北部凹陷的烃源岩形成于水体较深,还原性较强,且富含藻类的沉积环境,而南部凹陷恰与此相反,其烃源岩形成于水体较浅,还原性较弱,且藻类贫乏的沉积环境。

2.3 藿烷系列浓度

藿烷系列是一类在地质体中分布极其广泛的生物标志物,它代表了原核生物细菌的生物输入,同时也可指示烃源岩在成岩演化阶段微生物活动的强度。

就北部湾盆地不同凹陷原油而言,北部涠西南凹陷的原油中藿烷系列的浓度总体偏高,但变化幅度较大,一般为 0.59~5.64($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$) (图 3),反映出该凹陷可能发育有不同地球化学特征的烃源岩,勘探实践已经表明涠西南凹陷存在涠洲组和流花港组两套烃源岩。而对于南部福山凹陷中的原油而言,其藿烷系列的浓度明显偏低,且变化幅度较小,基本均小于 1.0($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$),暗示着该凹陷烃源岩的地球化学特征十分相近,有机质的来源较为单一,这与该凹陷只存在流花港组一套烃源岩的地质背景也是相符的。而介于两凹陷之间的乌石凹陷和迈陈凹陷所产的原油其藿烷系列的浓度也介于两者之间,只是乌石凹陷的原油更加接近相邻的涠西南凹陷,而迈陈凹陷的原油更类似于南部的福山凹陷。可见北部湾盆地自北相南原油中藿烷系列浓度的变化也具有明显的

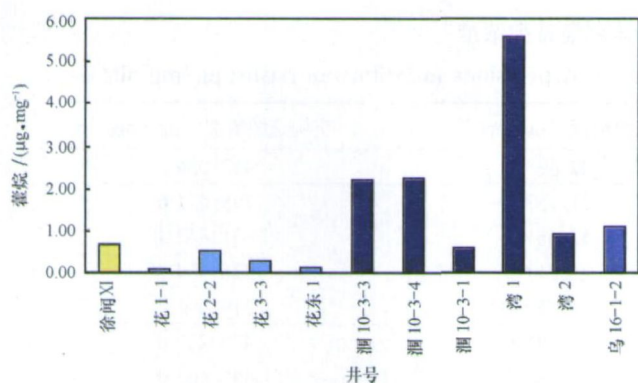


图 3 不同凹陷原油中藿烷系列浓度分布特征

Fig. 3 Hopane concentrations in crude oils from different depressions in Beibuwan basin

规律性,其内在的控制因素是沉积环境和沉积有利相带在横向上的变化。

2.4 甾烷浓度

与前述的三环萜烷系列和藿烷系列一样,北部湾盆地不同凹陷原油中甾烷系列的浓度也存在显著差异。如图 4 所示,不同凹陷原油中甾烷系列的浓度仍呈现出涠西南凹陷最高,而福山凹陷最低,乌石凹陷和迈陈凹陷的原油介于两者之间的特征。但不同凹陷内部所产原油中,甾烷的浓度还是存在明显差异的,如涠西南凹陷涠 10-3-1 井和湾 2 井原油中甾烷浓度较低,而湾 1 井原油甾烷浓度则很高,这可能与这些原油经历了较长距离的运移分异作用。

由于甾烷是一类来源于真核生物的生物标志物,不同凹陷原油中甾烷系列浓度的差异反映出不同凹陷的烃源岩中真核生物的贡献是不同,显然北部涠西南凹陷高于南部的福山凹陷和迈陈凹陷,这也是由沉积环境的性质和和烃源岩中有机

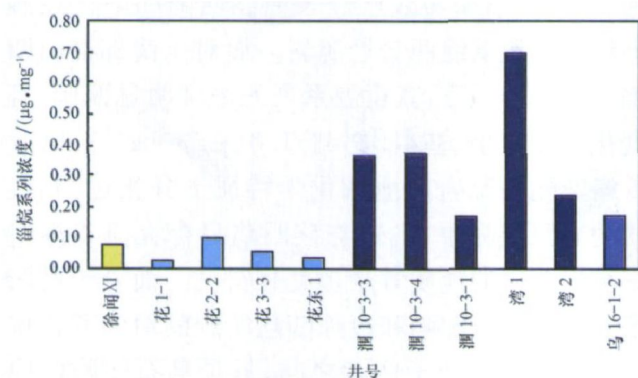


图 4 不同凹陷原油中甾烷系列浓度分布特征

Fig. 4 Sterane concentrations in crude oils from different depressions in Beibuwan basin

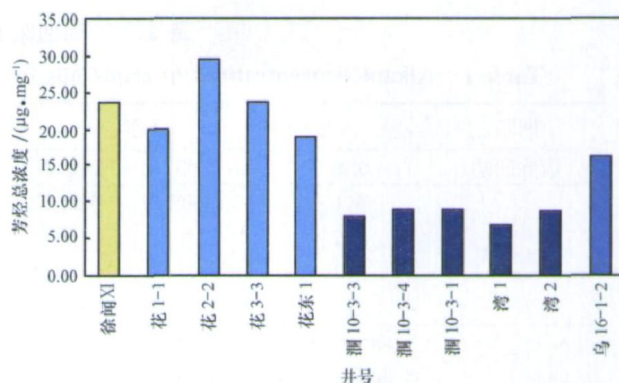


图 5 不同凹陷原油中芳烃浓度的组成特征

Fig. 5 Aromatic hydrocarbon components in crude oils from different depressions in Beibuwan basin

质的来源不同决定的。甾烷类生物标志物组成特征的分析结果表明涠西南凹陷原油中特别富含代表甲藻生物输入的 C_{30} 4-甲基甾烷,而福山凹陷原油中该类生物标志物的丰度极低,但代表陆源有机质贡献的奥利烷则丰度较高^[12],由此反映出北部凹陷的烃源岩中富含低等生物藻类,而南部凹陷的烃源岩则富含陆源有机质,这与北部湾盆地自北向南沉积环境和沉积有机相带的变化密切相关。

3 芳烃化合物浓度

原油中芳烃化合物的组成是十分复杂的,一般可检测到两环的烷基萘系列和烷基联苯系列、三环的烷基菲和茚、氧茚及硫茚系列、四环的烷基屈、荧蒹和芘系列等,还有一些芳构化程度不同的甾萜类化合物。由于原油中的各类芳烃化合物来源于烃源岩中的有机质,那么烃源岩中有机质的生源构成决定可原油中芳烃的含量与组成特征。以往的研究表明腐植型有机质富含芳香结构,而腐泥型有机质富含脂族结构^[13~18],由这两类有机质生成的原油也分别富含芳烃类化合物和烷烃类化合物。因此,依据原油中芳烃化合物的浓度可以判断烃源岩的性质及有机质的生源构成。

定量分析结果表明,北部湾盆地不同凹陷所产原油中芳烃浓度存在显著差异。如图 5 所示,北部涠西南凹陷原油中芳烃浓度最低,每毫克均小于 $10(\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1})$,而南部福山凹陷原油中芳烃浓度最高,基本都大于 $20(\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1})$,而且自北向南原油中芳烃浓度呈现出升高的趋势,反映出

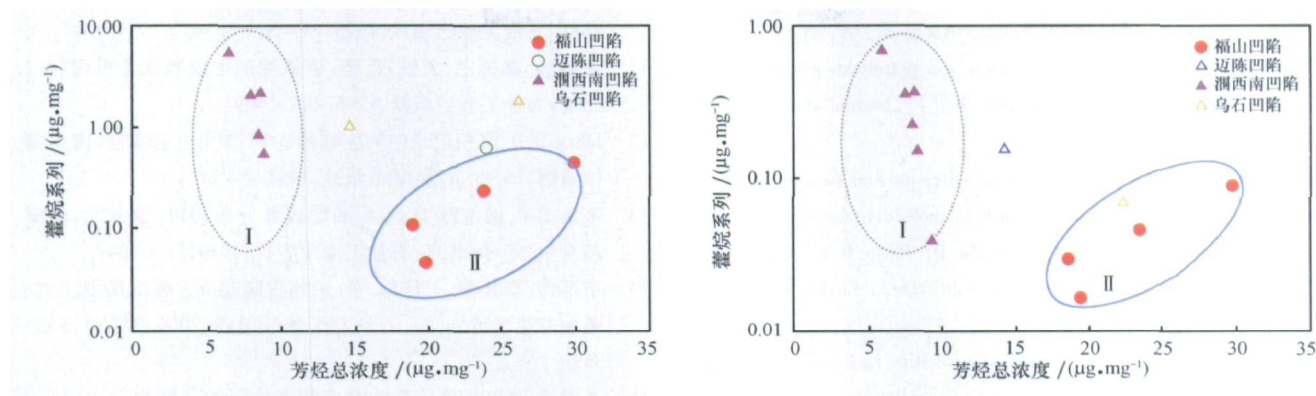


图 6 不同凹陷原油成因类型的划分

Fig. 6 Genesis types of crude oils from different depressions in Beibuwan basin

当时的古地理景观为北低南高, 沉积水体的深度为北深南浅, 烃源岩中的有机质类型则是北部凹陷偏腐泥型, 而南部凹陷偏腐植型, 烃源岩中有机质的原始生源构成表现为北部凹陷富含藻类, 而南部凹陷富含陆源有机质, 由此推测其含油气特征为北部凹陷以产油为主, 而南部凹陷则以产凝析油气为主, 而琼东南盆地则以产天然气为主, 这已被目前的勘探实践所证实。

4 原油成因类型分析

不同凹陷原油中各类生物标志物的分布与组成特征存在显著差异^[12-14-18], 这些差异的存在证实了不同凹陷原油的烃源岩具有不同的地球化学特征, 同时也暗示着不同凹陷的烃源岩形成的沉积环境或沉积有机相也不尽相同。

在各类化合物的浓度特征上不同凹陷原油中的差异也是存在的, 这为我们利用这些浓度确定不同凹陷原油的成因类型提供了依据。如图 6 所示, 北部的涠西南凹陷与南部的福山凹陷的原油在藿烷系列浓度和甾萜烷系列浓度与芳烃化合物总浓度的关系图上各有独立的分布区域, 表明这两个凹陷的原油分属不同的成因类型, 具有各自独立的来源, 由此也反映出涠西南凹陷烃源岩的地球化学特征不同于福山凹陷。乌石凹陷的原油分布在上述两个凹陷的原油之间, 显示出一种过渡成因类型, 反映了该凹陷的烃源岩无论是在沉积环境的性质还是在地球化学特征上也呈现一种过渡特性。而迈陈凹陷的原油则分布在福山凹陷原油所处的区域内, 表明这两个凹陷的原油属于同一成因类型, 其烃源岩的性质也是相似的, 暗示着

南部福山凹陷和迈陈凹陷分属一个沉积体系, 因而烃源岩才具有相似的地球化学特征。

由此可见, 依据原油中甾萜烷浓度与芳烃浓度间的关系, 可以很容易地把北部湾盆地不同凹陷原油的成因类型进行区分, 从而为该地区油气地球化学的研究和勘探提供依据。

5 结论

1) 通过对原油中各类化合物 (各类生物标志物和芳烃化合物) 浓度的定量分析, 发现北部湾盆地北部涠西南凹陷所产原油具有各类生物标志物浓度高, 而芳烃化合物浓度低的特征, 而南部福山凹陷和迈陈凹陷的原油恰与之相反, 呈现出各类生物标志物浓度低, 而芳烃化合物浓度高的特征, 表明不同凹陷烃源岩形成于不同沉积环境, 它们具有不同的地球化学特征。

2) 依据不同凹陷原油中甾萜烷浓度与芳烃浓度间的关系, 可以很直观地确定原油的成因类型。研究结果表明北部涠西南凹陷的原油与南部福山凹陷和迈陈凹陷的原油分属两个不同的成因类型, 它们具有独立的来源。而乌石凹陷所产原油则介于涠西南凹陷和福山凹陷所产原油之间, 显示出过渡类型的特征。

参 考 文 献

- 1 Farrimond P, Teh S N. Three series of rearranged hopanes in Torarcian sediments (northern Italy) [J]. Organic Geochemistry, 1996, 25(1): 65-177
- 2 Peters K E, Moldovan J M. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993, 140-148

- 3 Petersen H I, Andsbjerg J, Bojesen-Koeged J A, et al. Coal-generated oil source rock evaluation and petroleum geochemistry of the Lulita Oilfield, Danish North Sea [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2000, 23(1): 55–90
- 4 Requejo A G. Quantative analysis of triterpane and sterane biomarkers methodology and applications in molecular maturity studies [A]. In: Moklowan J M, Albrecht P, Philp R P. *biological markers and petroleum* [C]. Prentice-Hall, Englewood Cliff, N.J., 1992, 222–240
- 5 Radke M. Organic geochemistry of aromatics hydrocarbons [A]. In: Brooks J, Welte D, eds. *Advances in Petroleum Geochemistry* [C]. London: Academic Press, 1987, 141–207
- 6 南海北部大陆架第三系 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1981, 35~144
- 7 金庆焕. 南海地质与油气资源 [M]. 地质出版社, 1989, 344~354
- 8 包建平, 刘玉瑞, 朱翠山, 等. 北部湾盆地迈陈凹陷徐闻 X1 井油气地球化学特征 [J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(3): 300~304
- 9 潘贤庄. 北部湾盆原油中的生物标志物及其地质-地球化学意义 [J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 202~206
- 10 王铁冠, 钟宁宁, 侯读杰, 等. 低熟油气形成机理与分布 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995, 41~51
- 11 黄第藩, 秦匡宗, 王铁冠, 等. 煤成油的形成和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995, 401~409
- 12 Johns R B. 沉积记录中的生物标志物 [M]. (王铁冠, 黄第藩, 徐丽娜, 译. 北京: 科学出版社, 1991, 1~24
- 13 蒂索 B P, 威尔特 D H. 石油形成和分布 [M]. 徐永元, 徐灏, 郝石生, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1989, 88~104
- 14 李延钧, 李其荣, 王廷栋, 等. 泸州古隆起下三叠统嘉陵江组成藏地球化学特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(3): 363~369
- 15 方志雄. 潜江凹陷凹陷油藏成藏主控因素及勘探方向 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(6): 804~812
- 16 吕慧. 复杂油气藏油气运移的地球化学特征——以胜坨油田为例 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(4): 433~439
- 17 肖开华, 陈红, 沃玉进, 等. 江汉平原区构造演化对中、古生界油气系统的影响 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 689~693
- 18 张枝焕, 曾艳涛, 张学军, 等. 渤海湾盆地沾化凹陷渤南洼陷原油地球化学特征及成藏期分析 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28(1): 55~58

(编辑 陈喜禄)

2007年第 3期主要目录预告

羌塘盆地褶皱变形特征、定型时间及其与油气关系	李亚林等
准噶尔盆地南缘褶皱-冲断带的构造变换带特征	王新伟等
柴达木盆地油泉子储油构造分析	莫午零等
南里海盆地泥火山构造及其对油气成藏的影响	段海岗等
孤北洼陷东部五号桩地区沙三段浊流沉积特征及其储集性能	孟万斌等
束鹿凹陷古近系沙三下段泥灰岩的沉积特征	苏静等
南阳凹陷核桃园组储层中碳酸盐岩胶结物富集规律	孙思敏等
辽河盆地东部凹陷欧黄地区火山储集层特征及有利储层预测	张新培等
库车坳陷白垩系储层中的方解石胶结物的溶解作用与有利储层分布预测	王康乐等
淮南前陆盆地原油地球化学特征与油源的新认识	魏东涛等
济阳坳陷孤北潜山带天然气成因类型及分布规律	林武等