

文章编号: 1001-6112(2009)04-0384-05

塔河油田奥陶系原油芳烃地球化学特征

贾存善^{1,2}, 王延斌¹, 顾 忆², 黄继文²

(1. 中国矿业大学 资源与安全工程学院, 北京 100083;

2. 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: 芳烃化合物是原油中重要的组分, 在判别原油生源环境和成熟度方面应用广泛。塔河油田主体区奥陶系原油遭受过强烈的生物降解作用, 常用的饱和烃生物标志化合物指标往往不能正确反映原油成熟度、运移等信息, 芳烃化合物能有效抵制生物降解作用, 可更好地反映这些地质信息。通过芳烃 GC-MS 分析, 表明塔河奥陶系原油具有高萘、高菲、高硫芴、低氧芴、低联苯等特点, 均来自同一油源, 生烃母质属还原—强还原环境。烷基苯指数、二苯并噻吩和三芳甾烷等成熟度指标表明, 塔河油田奥陶系原油成熟度由西向东、由北向南不断增高, 反映出奥陶系油气主要来自沙雅隆起东南部的满加尔拗陷。

关键词: 成熟度; 生源环境; 芳烃; 原油; 塔河油田

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AROMATIC HYDROCARBONS OF CRUDE OILS FROM ORDOVICIAN RESERVOIR IN THE TAHE OILFIELD

Jia Cunshan^{1,2}, Wang Yanbin¹, Gu Yi², Huang Jiwen²

(1. College of Resource & Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Aromatic hydrocarbons as the important components of crude oils are widely used in estimating depositional environment of source rocks and maturity of oil. The maturity and migration information of Ordovician oil in the main area of Tahe Oilfield can not be exactly inferred by the normal biomarker parameters of saturated hydrocarbon because of strong biodegradation, but it can be indicated by the aromatic hydrocarbon because of its good restrain to biodegradation. The GC-MS analyses of aromatic hydrocarbon indicates the Ordovician oils have rich naphthalene, phenanthrene and dibenzothiophene, but poor dibenzofuran and diphenyl, which demonstrated that all Ordovician oils come from the same source rocks. The environment of parent material is reduction—strong reduction. The maturation degree of Ordovician oil increases from west to east, from north to south, which is proved by alkylnaphthalene index, DBT and triaromatic steroid. As a result, Manjiaer Depression in the southeast of Shaya uplift belt is regarded as the main hydrocarbon kitchen of Ordovician gas and oil.

Key words: maturity; depositional environment; aromatic hydrocarbons; crude oils; Tahe Oilfield

塔河油田位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起的南斜坡, 其主力产层奥陶系储集的海相原油在成藏早期经历了强烈的生物降解^[1~3], 原油中普遍检测到生物降解的标志化合物 25-降藿烷系列。1993 年, Peters 就提出了生物降解作用对原油的降解顺序是: 正构烷烃、类异戊二烯烷烃、甾烷、藿烷/重排甾烷、芳构化甾烷、卟啉等^[4], 这表明有些常用的生物标志化合物参数已经不能正确反

映塔河油田奥陶系原油的热演化程度、运移等地球化学信息^[5,6]。由于芳烃化合物具有特殊的结构和性质, 且具有一定的生物毒性, 对生物降解抵抗能力远高于饱和烃等生物标志化合物^[7~9]。因此, 本次研究采集了大量的塔河油田奥陶系原油样品(图 1), 通过原油中芳烃化合物地球化学特征的分析, 对原油的生源沉积环境、成熟度等地质信息进行了推测。

收稿日期: 2009-02-09; 修订日期: 2009-07-15。

作者简介: 贾存善(1973—), 男, 高级工程师, 从事油气地球化学与成藏研究。E-mail: jiacs@mail.wuxisuo.com。

2 生源沉积环境

大量研究表明,三芴系列化合物—二苯并噻吩系列(硫芴)、二苯并呋喃系列(氧芴)和吡咯类化合物(芴),其基本骨架中都有一个五员环,可能来源于同种先质,是良好的烃源岩和原油生源沉积环境的指标。在海相、盐湖相强还原条件下,芴分子骨架中 9 碳位属于 α 碳原子,其化学性质比较活泼,容易被取代很容易加入硫,而形成硫芴;在浅水如沼泽环境中游离氧比较丰富,容易形成氧芴。可见,硫芴和氧芴的分布主要受控于烃源岩的沉积环境,在氧化—弱还原环境中,氧芴含量相对较高,强还原条件中硫芴则可能占优势,在正常还原环境下,芴系列化合物较丰富。

根据塔河油田 113 口井中奥陶系原油样品的芳烃 GC—MS 测试分析数据,在三芴系列化合物三角端元图中可见(图 3),无论是塔河油田北部主体区(4,6,7,8,10 和 2 区)还是东部和南部,所有奥陶系原油三芴系列化合物的分布集群样非常好,硫芴相对含量高达 60% 以上,均表明塔河奥陶系原油无论是轻质油或凝析油还是重质—超重质原油,不仅都来自同一油源,而且原油生源环境属于还原—强还原沉积环境。

3 原油成熟度

芳烃化合物中能够反映烃源岩和原油的热演化程度指标很多,包括甲基萘指数、甲基菲指数、烷基二苯并噻吩、多环芳烃以及三芳甾烷等各类成熟度参数^[11~15]。考虑到塔河油田奥陶系原油热演化

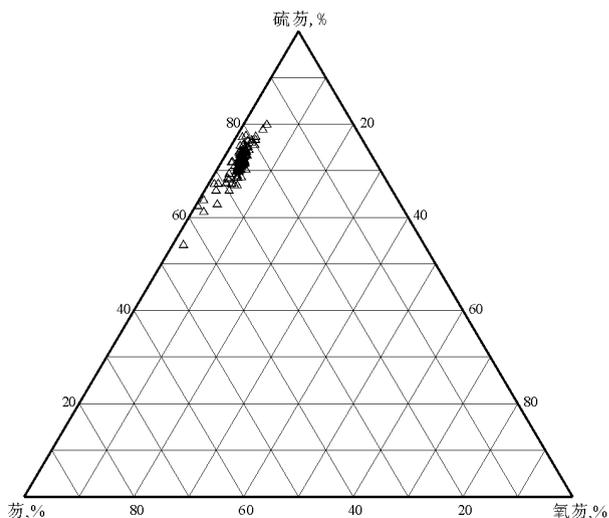


图 3 塔河油田奥陶系原油三芴系列化合物组成

Fig. 3 Components of dibenzothiophene, dibenzofuran and fluorene of Ordovician crude oils in the Tahe Oilfield

程度高,且遭受过强烈生物降解作用,因而选取能够反映高成熟度阶段,且不易遭受生物降解影响的芳烃成熟度指标来研究塔河奥陶系原油成熟度变化特点。

3.1 烷基萘

研究表明三甲基萘指数 $[TMNr: 2,3,6-三甲基萘/(2,3,6+1,2,5)-三甲基萘]$ 和四甲基萘指数 $[TeMNr: 1,3,6,7-四甲基萘/(1,3,6,7+1,2,5,7)-四甲基萘]$ 的关系,能反映低—高成熟整个热演化阶段原油和烃源岩的成熟度^[12],可以用以判断塔河油田全区奥陶系原油的成熟度。塔河奥陶系原油的 TMNr 为 0.49~0.93, TeMNr 为 0.54~0.89,等效 R_o 值在 1.0% 以上,原油处于成熟—高成熟阶段(图 4),除了塔河 4 区 TK417CH 和塔河 10 区的 T707 井原油处于成熟演化阶段之外,其它各区块原油都属于高成熟原油,塔河主油区 2,4,6,7,8 等区原油成熟度大致相近,同时反映出从塔河主体区(塔河 2,4,6,7,8 等区)到塔河东部和南部,即从西向东、从北向南,原油成熟度不断增高的趋势,表明塔河油田奥陶系原油的主力运移方向为从南向北、从东向西。

3.2 二苯并噻吩系列化合物

大量研究表明,二苯并噻吩在老各时代原油(含凝析油和轻质油)和地层(第三系—震旦系)中均有广泛分布^[11],并且对热应力表现出高度的、持

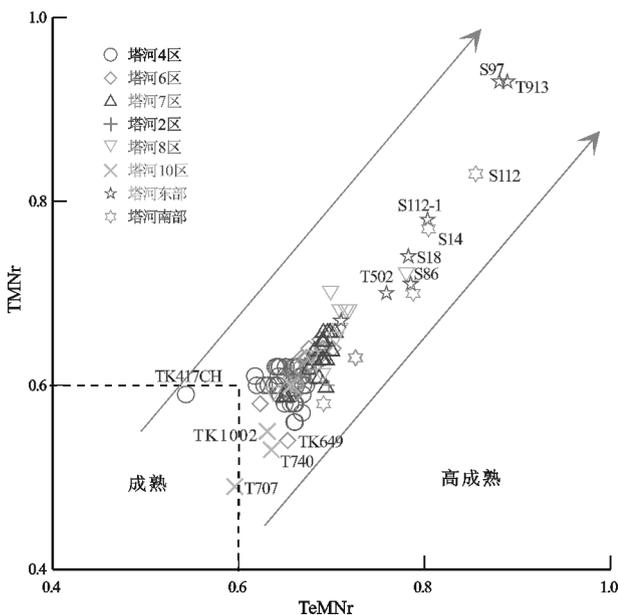


图 4 塔河油田奥陶系原油三甲基萘指数和四甲基萘指数反映的成熟度

Fig. 4 Maturation degree reflected by trimethylnaphthalene and tetramethylnaphthalene exponent of Ordovician crude oils in the Tahe Oilfield

续的灵敏性。早在1977年, Milner 等就提出了二苯并噻吩由于其对称性分子结构特点, 具有很高的热稳定性和抗微生物降解能力^[16]。所以, 二苯并噻吩系列化合物成熟度参数可弥补其它饱和烃和芳烃馏分中常用的成熟度参数不适合高一过成熟阶段的局限性, 其可以提供极宽范围的成熟度信息。1984年, Hughes 研究二苯并噻吩系列化合物时发现热稳定性高的 β 位取代异构体随埋深的增大而丰度增高, 且不稳定的 α 取代异构体相对含量减少, 就提出了MDR参数——4-甲基二苯并噻吩/1-甲基二苯并噻吩(4-MDBT/1-MDBT)的成熟度指标^[17]。1997年, Chakhmakhchev 等提出二苯并噻吩可以作为一种有效的成熟度参数, 随着原油等热演化程度增高, 4,6-和2,4-二甲基二苯并噻吩(4,6-DMDBT和2,4-DMDBT)相对含量增加, 而1,4-二甲基二苯并噻吩(1,4-DMDBT)含量相对降低, 4,6-DMDBT和2,4-DMDBT与1,4-DMDBT的比值将随原油成熟度增高而增大^[18]。

从塔河油田奥陶系原油芳烃色谱图及二苯并噻吩参数变化来看(图5), 由西向东的方向(S48

井—TK235井—T115井—T913井)原油中1-MDBT和1,4-DMDBT相对含量同样不断降低, 4,6-DMDBT和2,4-DMDBT相对含量增加, MDR参数从S48井3.43不断增大至塔河东部T913井的7.55; 而二甲基二苯并噻吩成熟度参数则分别由S48井的2.04和0.93不断增加至T913井的2.72和1.19, 反映出原油成熟度由西向东不断增高的趋势明显。由北向南方向(TK611井—T801(K)井—S117井—S112-1井)原油中的1-MDBT和1,4-DMDBT相对含量同样不断降低, 4,6-DMDBT和2,4-DMDBT相对含量不断增加。MDR参数则由塔河北部6区TK611井的4.01增大至塔河最南部S112-1井的7.18, 4,6-DMDBT和2,4-DMDBT与1,4-DMDBT比值分别由2.17和0.92增大至3.22和1.22, 反映出原油成熟度由北向南不断增高的趋势明显。总体来看, MDR参数变化幅度较大, 更能反映原油成熟度变化趋势。

3.3 三芳甾烷

三芳甾烷(TAS)通常被认为是单芳甾烷深度

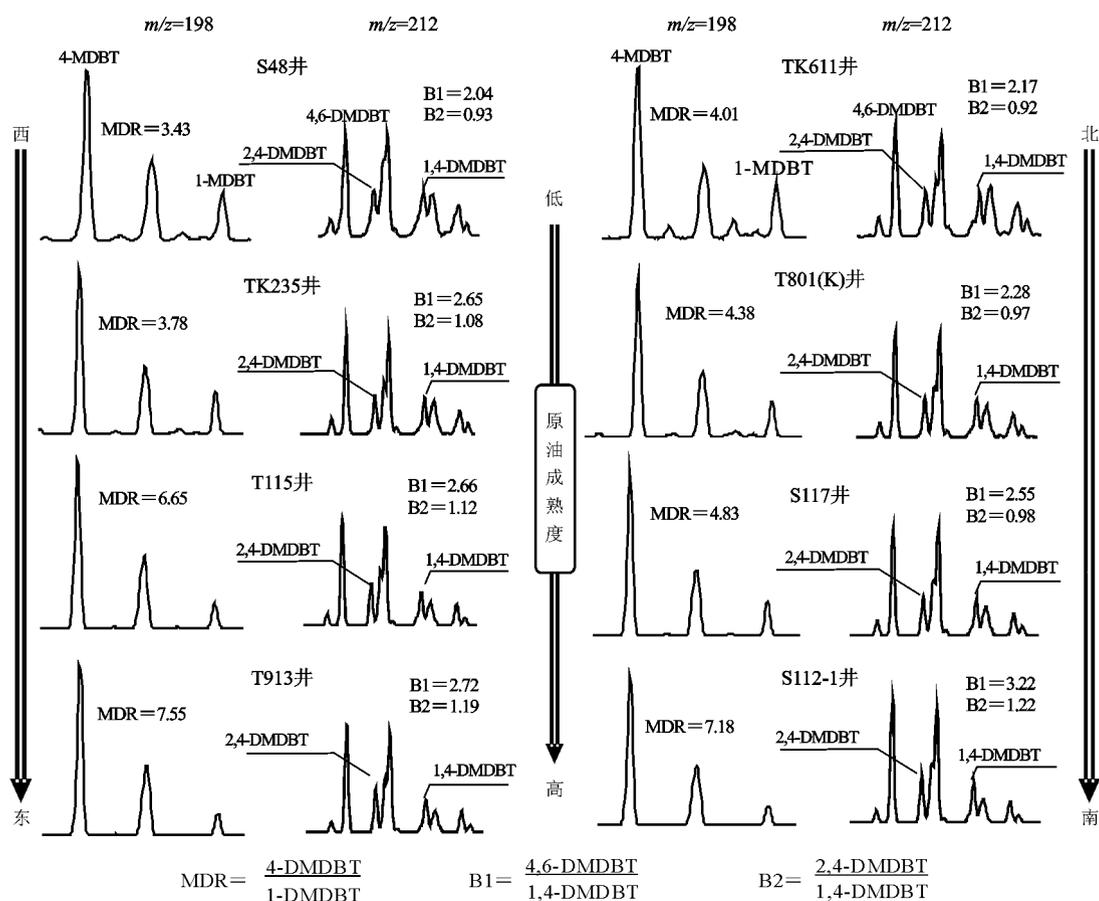


图5 塔河油田奥陶系原油二苯并噻吩指标反映的南北向和东西向成熟度变化

Fig. 5 Maturation degree changes of DBT index of Ordovician crude oils from south to north and from east to west in the Tahe Oilfield

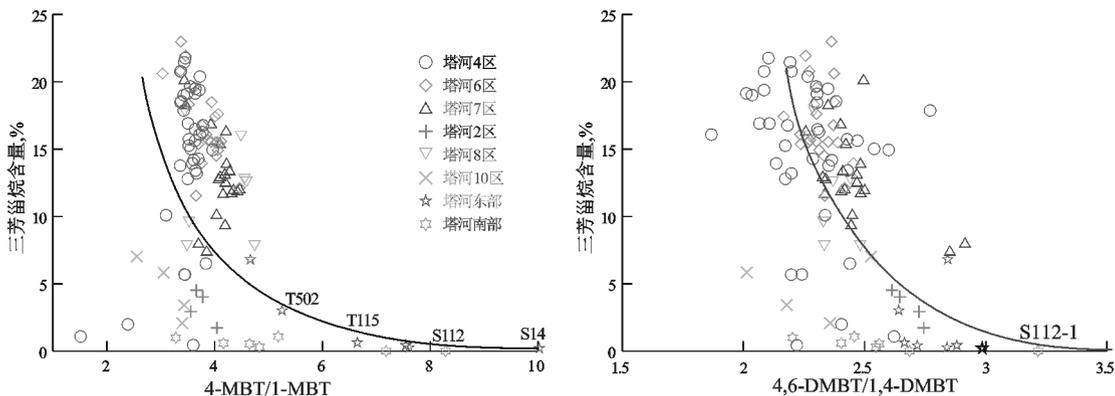


图 6 塔河奥陶系原油三芳甾烷含量与 4-MBT/1-MBT、4,6-DMBT/1,4-DMBT 比值的关系

Fig. 6 The triaromatic contents and 4-MBT/1-MBT and 4,6-DMBT/1,4-DMBT ratios of Ordovician crude oils in the Tahe Oilfield

受热后芳构化的产物,但也与有机质的原始母质输入有关,同时三芳甾烷是原油芳烃化合物中遭受生物降解难度最高的化合物^[19],因而是芳烃中最稳定的化合物。利用三芳甾烷研究原油成熟度的指标很多^[13],本次研究主要运用 C_{28} -三芳甾烷 $20S/(20R+20S)$ 比值反映原油成熟度变化。塔河油田主体区(2,4,6,7,8,10区) C_{28} -三芳甾烷 $20S/(20R+20S)$ 比值分布范围在 0.54~0.60,而塔河东部(T913,S14,S18和T912等井)和南部(S117,S116-2,S112-1,S112和S106等井)则分布于 0.61~0.64,总体反映出塔河东部和南部原油成熟度相对较高特点。

李林强等在研究东濮凹陷西斜坡原油成熟度变化时发现,随着原油成熟度的增高,原油中三芳甾烷的含量则不断降低^[13]。塔河油田奥陶系原油在全区的分布也有此特点,塔河主体区 4,6,7 区三芳甾烷含量在 13.1%~16.9%,到塔河 8 区和 2 区其含量分别降低至 9.8%和 3.3%,到塔河东部的评价 1 区则降至 1.7%,而塔河南部则更低为 0.5%,并且 S112 和 S112-1 井原油中未检测出三芳甾烷系列化合物。

从塔河油田奥陶系原油三芳甾烷系列化合物含量与反映原油成熟度的二苯并噻吩指数关系(图 6)可见,随着 4-MDBT/1-MDBT 和 4,6-DMDBT/1,4-DMDBT 比值的增加,原油成熟度也相应增高,而三芳甾烷相对含量则表现出呈指数下降,因而三芳甾烷含量的变化,为塔河油田奥陶系原油成熟度在全区的变化规律提供了新的依据。

4 结论

1)塔河油田奥陶系原油具有高萘、高菲、高硫

芴、低氧芴、低联苯的特点,表明原油的生源有机质偏腐泥型特征,属于典型的海相油。

2)三芴系列化合物表明,塔河油田奥陶系原油无论是早期遭受过强烈生物降解的重质—超重质原油,还是晚期充注的高成熟度的轻质油或凝析油,均来自同一油源,总体反映出原油的生烃母质环境处于还原—强还原环境。

3)烷基萘指数、二苯并噻吩和三芳甾烷成熟度指标都表明,塔河油田奥陶系原油成熟度由西向东、由北向南不断增大的趋势明显,反映出奥陶系油气主要来自于沙雅隆起南部的满加尔坳陷。

参考文献:

- 1 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. 石油实验地质,2000,22(4):307~312
- 2 顾 忆,邵志兵,陈强路等. 塔河油田油气运移与聚集规律[J]. 石油实验地质,2007,29(3):224~230
- 3 吕海涛,张卫彪. 塔里木盆地塔河油田奥陶系油气成藏演化过程研究[J]. 石油实验地质,2008,30(6):547~551,556
- 4 Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments[M]. New York:Preitice Hall,1993
- 5 黄继文. 塔里木盆地塔河油区原油生物标志化合物在运移方面的应用探讨[J]. 石油实验地质,2003,25(增刊):573~576
- 6 倪春华,包建平,王鹏辉. 生物降解原油的油源对比研究新进展[J]. 石油天然气学报,2005,27(5):724~727
- 7 Volkman J K, Alexander R, Kagi R L, et al. Biodegradation of aromatic hydrocarbons in crude oils from Barrow subbasin of Western Australia[A]. Organic Geochemistry,1984,6:633~643
- 8 Williams J A, Bjoroy M, Doleater D L, et al. Biodegradation in south Texas Eocene oils: Effects on aromatics and biomarkers[J]. Organic Geochemistry,1985,10(1~3):451~461
- 9 倪春华,包建平. 生物降解作用对芳烃生物标志物参数的影响研究[J]. 石油实验地质,2008,30(4):386~389

(下转第 393 页)

表 2 苏北盆地海安凹陷泰州组石油资源评价结果汇总

Table 2 Resource evaluation for the Taizhou Formation of the Haian Sag, the Northern Jiangsu Basin

评价单元 名称	面积/ km ²	远景 资源量/ 10 ⁴ t	石油地质资源/10 ⁴ t									石油可采资源/10 ⁴ t					
			探明 储量	地质资源量			待发现地质资源			可采 储量	可采资源量			待发现可采资源量			
				95%	期望	5%	95%	期望	5%		95%	期望	5%				
A	308	479	0	171	392	622	171	392	622	0	51	118	187	51	118	187	
B	151	345	96	123	282	448	27	186	352	5.0	37	85	134	32	80	129	
C	347	1 163	284	348	796	1 264	64	512	980	70.1	104	239	379	34	169	309	
D	183	188	0	50	114	182	50	114	182	0	15	34	54	15	34	54	
E	1 009	1 030	64	335	766	1 216	271	702	1 152	0	100	230	365	100	230	365	
F	354	917	175	329	754	1 196	154	579	1 021	35.2	99	226	359	64	191	324	
G	518	1 001	100	388	889	1 411	288	789	1 311	0	116	267	423	116	267	423	
H	507	941	0	423	969	1 538	423	969	1 538	20.0	127	291	461	107	271	441	
小计	3 378	6 063	719	2 168	4 961	7 877	1 449	4 242	7 158	130.3	650	1 488	2 363	520	1 358	2 233	

优质烃源岩。

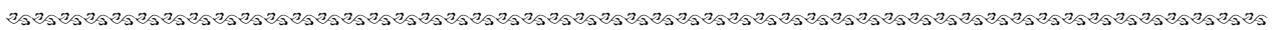
3)海安凹陷远景资源量为 6 063 × 10⁴ t, 期望地质资源量为 4 961 × 10⁴ t, 剩余地质资源量为 4 242 × 10⁴ t, 期望可采储量为 1 488 × 10⁴ t, 剩余可采储量为 1 358 × 10⁴ t, 具有一定的勘探前景。

参考文献:

- 1 朱建辉, 徐旭辉. 苏北盆地海安凹陷曲塘—李堡地区新生代演化 and 油气响应评价[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 138~143
- 2 祝厚勤, 刘平兰, 庞雄奇. 生烃潜力法研究烃源岩排烃特征的原理及应用[J]. 中国石油勘探, 2008, 56(3): 5~9
- 3 任红民, 陈莉琼, 王文军等. 苏北盆地晚白垩世泰州组原型盆地恢复[J]. 石油实验地质, 2008, 30(1): 52~57
- 4 陈安定, 宋宁, 王文军. 苏北盆地地上白垩统泰州组烃源层评价[J]. 中国海上油气, 2008, 20(1): 28~33

- 5 陈安定. 苏北盆地油源判别指标研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 397~401
- 6 解国军, 金之钧, 肖焕钦等. 成熟探区未发现油藏规模预测[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 16~18
- 7 金之钧, 张金川. 油气资源评价技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 8 金之钧, 张金川. 油气资源评价方法的基本原则[J]. 石油学报, 2002, 23(1): 19~23
- 9 Meneley R A, Calverley A E, Logan K G, et al. Resource assessment methodologies: Current status and future direction[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(4): 535~540
- 10 金之钧. 五种基本油气藏规模概率分布模型比较研究及其意义[J]. 石油学报, 1995, 16(3): 6~13
- 11 周总瑛. 我国油气资源评价现状与存在问题[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(5): 450~453

(编辑 韩 或)



(上接第 388 页)

- 10 黄海平, 杨杰, Larter S R. 生物降解作用对储层抽提物中多甲基取代萘分布的影响[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003, 28(3): 183~194
- 11 李景贵. 海相碳酸盐岩二苯并噻吩类化合物成熟度参数研究进展与展望[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 480~483
- 12 陈致林, 李素娟, 王忠. 低一中成熟演化阶段芳烃成熟度指标的研究[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 192~197
- 13 李林强, 林千子. 利用芳烃化合物研究东淮凹陷西斜坡地区原油成熟度[J]. 沉积学报, 2005, 22(2): 361~365
- 14 罗健, 程克明, 付立新等. 烷基二苯并噻吩——烃源岩热演化新指标[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 27~31
- 15 魏志彬, 张大江, 张传禄等. 甲基二苯并噻吩分布指数(MD-BI)作为烃源岩成熟度标尺的探讨[J]. 地球化学, 2001, 30(3): 242~247

- 16 Milner C W D, Rogers M A, Evans C R. Petroleum transformations in reservoirs [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1977, 7: 101~153
- 17 Hughes W B. Use of thiophenic organosulfur compounds in characterizing crude oils derived from carbonate versus siliclastic sources[A]. In: Palacas J B, ed. Petroleum Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks, AAPG Studies in Geology 18[M]. Tulsa: AAPG, 1984. 181~196
- 18 Chakhmakhev A, Suzuki M, Takayama K. Distribution of alkylated dibenzothiophenes in petroleum as a tool for maturity assessments [J]. Organic Geochemistry, 1997, 26(7): 483~490
- 19 段传丽, 陈践发. 生物降解原油的地球化学特征及其意义[J]. 天然气地球化学, 2007, 18(2): 278~283

(编辑 黄 娟)