



• 地球科学与环境科学 •

塔河油田原油芳烃地球化学特征与运移研究

郑朝阳¹ 柳益群¹ 段毅² 樊婷婷¹ 王传远³ 程新虎¹

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室/地质学系 陕西 西安 710069; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所
兰州油气资源研究中心 兰州 730000; 3. 中国科学院烟台海岸带研究所 烟台 264003)

摘要: 目的 研究塔河油田原油芳烃地球化学特征与油气运移规律, 探讨芳烃指标用于油气运移的可行性, 为油气勘探提供参考数据。方法 采用气相色谱-质谱(GC-MS)分析技术, 鉴定分析了芳烃组成, 将同层位原油中4-1-甲基苯并噻吩和MRI参数按照井位坐标置于平面图上, 分析其平面展布规律。结果 芳烃参数中的4-1-甲基苯并噻吩、TA(I)/TA(II+I)和MRI指数在研究区存在由东向西、由南向北和由南东向北西逐渐降低的趋势, 与前人应用其他方法获得的研究区油气运移规律相近。结论 芳烃参数适合于高成熟度油田的油气运移研究; 应用芳烃参数分析可知研究区存在由东向西、由南向北和由南东向北西3个油气运移方向。

关键词: 油气运移; 地球化学; 芳烃; 满加尔凹陷

中图分类号: TE122 文献标识码: A 文章编号: 1000-274X(2011)04-0653-05

The geochemistry characteristics aromatic compounds and oil and gas migration of crude oils of the Tahe Oilfield

ZHENG Chao-yang¹, LIU Yi-qun¹, DUAN Yi², FAN Ting-ting¹,
WANG Chuan-yuan³, CHENG Xin-hu¹

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics/Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;
2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China;

3. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai, 26400, China)

Abstract: **Aim** To confirm the geochemistry characteristics of crude oils in the Tahe Oilfield and oil and gas migration method, and probe into the feasibility of the parameter aromatic compounds, and provide scientific data for hydrocarbon prospecting. **Methods** According to GC-MS analysis the component of aromatic compounds in the crude oils is identified. In the study the parameters of 4-1-MDBT, TA(I)/TA(II+I) and MNR are labeled according to the well location, and the rule of distribution of these indexes is analyzed. **Results** The distributional characteristics of these parameters of 4-1-MDBT, TA(I)/TA(II+I) and MNR show that these parameters have a reducing trend from east to west, from south to north and from southeast to northwest gradually, which was in consonance with other scholars using different methods. **Conclusion** This study shows that the aromatic indexes are acceptable for oil and gas migration, and these parameters reflect the charging direction of crude oil, which is mainly from the east of the oilfield to the west, from the south of the oilfield to the north and from southeast to northwest for the Tahe Oilfield.

Key words: oil and gas migration; geochemistry; aromatic compound; Manjiaer depression

收稿日期: 2010-04-28

基金项目: 国家“973”计划基金资助项目(2005CB422105); 中国科学院资源环境局知识创新重要方向基金资助项目(KZCX3-SW-147); 中国石油化工股份有限公司重大基金资助项目(YPH08103)

作者简介: 郑朝阳, 男, 河北武强人, 西北大学博士后, 从事石油地质学研究。

塔河油田在构造上位于沙雅隆起阿克库勒凸起的西南部,南临满加尔凹陷、草湖凹陷和哈拉哈塘凹陷,是中国迄今为止发现的最大海相碳酸盐岩油田。塔河油田的发现说明中国古生界海相油气勘探具有良好的发展前景。前人研究认为该地区油源充足,碳酸盐岩中的孔、缝、洞为其储层、盖层、圈闭提供了良好的条件。断层和储集层则是油气运移的主要通道,该区域构造活动较弱,因此保存条件较好^[1-5]。油气运移是油气成藏链上的关键环节,顾忆等(2003)通过对塔河油田奥陶系油气物理性质、原油轻烃、饱和烃生物标记化合物(三环萜烷/17 α (H)-藿烷、Ts/Ts + Tm 和重排甾烷/规则甾烷 3 个指标)和含氮化合物分布特征的研究,探讨了油气的运移方向和充注过程^[2]。本文通过芳烃成熟度参数来探讨塔河油田的油气运移规律,为高成熟油藏的油气运移研究提供新途径和新方法。

1 样品与实验

样品均来自塔里木盆地塔河油田近几年开采的新油井,且以前均未进行过原油地球化学分析。样品采集时,随即进行了油水分离,运回实验室在低温下保存;原油经沉淀沥青质后,用氧化铝/硅胶柱色谱进行分离;饱和烃和芳烃馏分分别用正己烷和苯冲洗,非烃馏分用乙醇冲洗;芳烃馏分用美国安捷伦科技公司(Agilent)制造的色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行分析鉴定。MS 为 5 973 N,离子源温度为 250 $^{\circ}$ C,电离电压为 70 eV。GC 为 6 890 N,色谱柱为 HP-5(30 m \times 0.32 mm),固定相涂膜厚度 0.25 μ m,

载气为 He,起始温度 80 $^{\circ}$ C,以 4 $^{\circ}$ C/min 升温至少 300 $^{\circ}$ C,然后恒温 30 min。

2 原油运移指标的选取

在原油的演化过程中,不同成分会有不同的变化规律。随着烃源岩演化程度的升高,其生成原油的成熟度也将同时提高。因此,原油在充注运移的过程中会呈现规律性变化,即在原油的运移方向上,其成熟度不断降低,所以原油的成熟度参数的分布规律,在高成熟度油藏中可用于研究原油的充注点、充注期次和运移方向。

塔河油田原油具有较高的成熟度,常用的生物标记化合物参数指标在大多数情况下已经不适合作为成熟度指标,因为这些参数已达到平衡值。另外,据前人研究,塔河油田原油遭到严重的生物降解^[6],因此,在选则参数指标时必须考虑生物降解对参数指标的影响。基于上述情况,本文选择成熟度适用范围广、抗生物降解能力强的芳烃参数作为油气运移指标研究塔河油田奥陶系原油油气运移规律。

本文对塔河油田 2~3 区和 4~9 区产层的奥陶系原油芳烃地球化学特征进行了研究(见图 1,表 1),根据上述原则选择了芳烃化合物中 4-1-甲基苯并噻吩、TA(I)/TA(II + I) 和 MNR 指数作为油气运移指标,探讨了油气运移规律。由于前人研究该油田时,原油样品来自同一油源^[7-8],因此,油源不同对参数的影响可以不予考虑。

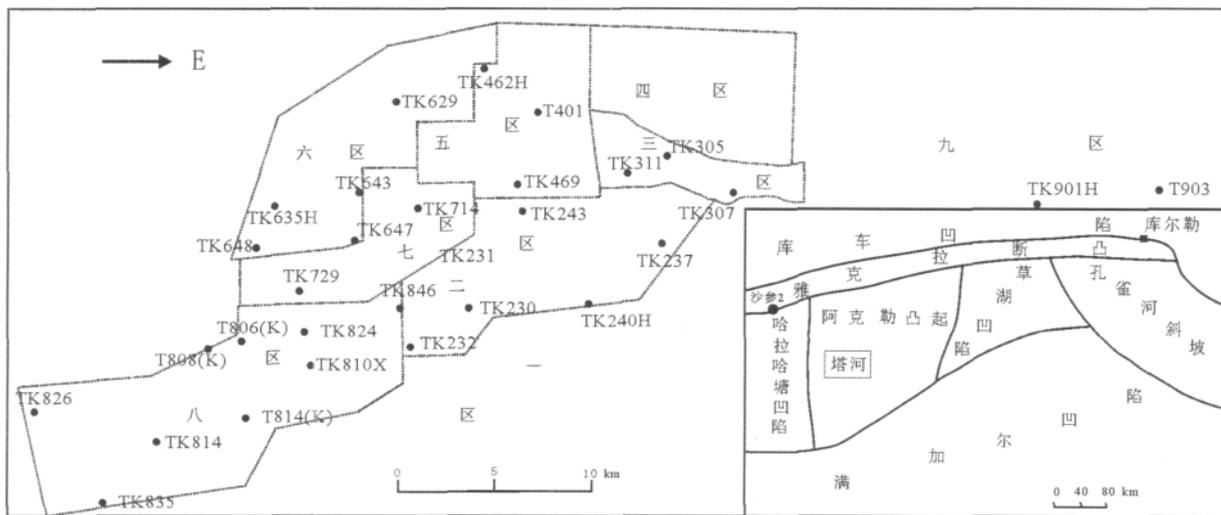


图 1 塔河油田构造区位及采样位置图

Fig. 1 The structural and sampling location of Tahe Oilfield

3 塔河油田原油中4—/1—甲基二苯并噻吩、MNR 指数、TA(I) /TA(II + I) 与油气运移

据前人研究 4—甲基二苯并噻吩由于热稳定性较好, 导致随着埋深的增加和热演化程度的提高, 4—/1—甲基二苯并噻吩参数值增大, 因此, 常常用于烃源岩和原油的成熟度研究^[9-11]。H. Budzinski 等人(1998) 对烷基苯并噻吩的抗生物降解能力研究认为, 4-DMDBT 的抗生物降解能力较 3-DMDBT 和 2-DMDBT 强, 而比 1-DMDBT 弱^[12]。因此, 生物降解可能使得 4—/1—甲基二苯并噻吩参数值有所升高。由表 1 可知, 塔河油田四区、六区和七区为生

物降解比较严重的原油^[6], 而 4—/1—甲基二苯并噻吩参数并没有明显变化, 说明生物降解对该参数的影响有限, 依然可以作为成熟度参数使用。从表 1 和图 2 可知, 塔河油田奥陶系原油 4—/1—甲基二苯并噻吩参数从南部八区 TK814 井的 5.60 到北部六区则降低为 4.14~3.63; 在南东—北西方向上从 4.67 降低为 4.14; 东西方向表现出由东向西减小的趋势, 由九区 T913 井的 14.0 降低为四区的 3.63。从上述特征可以看出, 从南到北、由东向西、由南东向北西油气的成熟度不断降低, 即存在 3 个方向的油气充注。塔河油田原油注入点可能在八区以南和九区西部和南部一带。

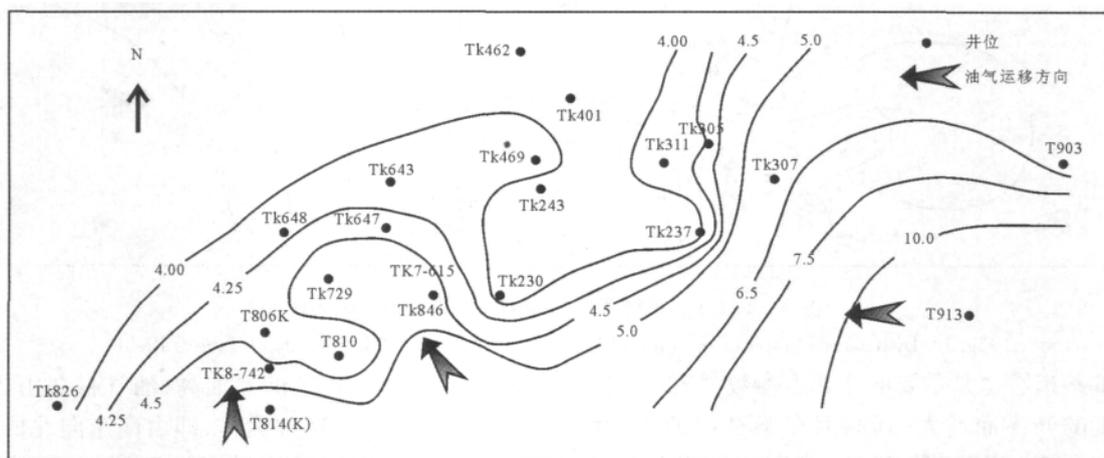


图 2 塔河油田 4—/1—甲基苯并噻吩比值等值线分布图

Fig. 2 Distributing graph of the ratio of 4—/1—MDBT from the oils in Tahe Oilfield

表 1 塔河油田芳烃运移参数表

Tab. 1 Parameters of petroleum migration in Tahe oilfield

样号	油区	井号	产层	深度/m	4—/1—MDBT	TA(I) / TA(II + I)	MNR
TO-7-N		TK230	O ₁₋₂ y	5 568.7 ~ 5 660	3.88	0.094	2.38
TO-11-N	2 区	TK243	O ₁₋₂ y	5 660 ~ 5 750	3.75	0.093	2.08
TO-13-N		TK237	O ₁₋₂ y	5 571 ~ 5 590	3.75	0.096	2.30
TO-20-N	3 区	TK305	O ₁₋₂ y	5 407 ~ 5 461	4.29	0.101	2.38
TO-22-N		TK311	O ₁₋₂ y	5 397 ~ 5 600	4.29	0.102	2.38
TO-29-N		TK469	O ₁₋₂ y	5 413 ~ 5 560	4.29	0.094	2.15
TO-30-N		TK462H	O ₁₋₂ y	5 568 ~ 6 067	3.88	0.086	2.38
TO-33-N	4 区	TK401	O ₁₋₂ y	5 367 ~ 5 580	3.63	0.096	2.24
TO-37-N		TK643	O ₁₋₂ y	5 661 ~ 5 700	4.14	0.101	1.98
TO-39-N	6 区	TK648	O ₁₋₂ y	5 550 ~ 5 593	4.14	0.094	2.16
TO-48-N		TK729	O ₁₋₂ y	5 581 ~ 5 635	4.83	0.095	2.30
TO-54-N	7 区	T7-615	O ₁₋₂ y	5 521 ~ 5 637	4.67	0.094	2.38
TO-55-N		T810X(K)	O ₁₋₂ y	5 628 ~ 5 710	4.14	0.152	2.40
TO-57-N	8 区	T814(K)	O ₁₋₂ y	5 574 ~ 5 670	5.60	0.096	2.60
TO-60-N		TK826	O ₂ yj	5 752 ~ 5 788	3.86	0.098	2.50
TO-64-N		TK846	O ₂ yj	5 518 ~ 5 657	4.67	0.126	2.43
TO-73-N		T806(K)	O ₂ yj	5 506 ~ 5 587	4.50	0.139	2.22
TO-56		TK8-742	O ₁₋₂ y	5 740 ~ 5 750	4.50	0.100	2.70
TO-69-N	9 区	T913	O ₂ yj	5 970 ~ 6 000	14	0.147	2.80

据前人研究,原油中的三芳甾烷具有强的生物降解能力,其参数基本不受生物降解的影响^[13],并且适应成熟度范围广^[14],可以应用于成熟—高成熟甚至成熟晚期的原油和烃源岩成熟度的研究,因此,该参数符合塔河油田这种多期成藏、高成熟度且存在生物降解过程的复杂油气藏研究。由图 3 和表 1 可知,原油中的三芳甾烷参数 $TA(I)/TA(II+I)$ 从九区 T913 井的 0.147 到二区再到四区呈现逐渐

降低的趋势,参数值降低为 TK462 井的 0.086。在南北方向上,该参数值则由 Tk810 井的 0.152 降低为 TK648 井的 0.094。该参数体现了从东向西油气成熟度有减小的趋势,同时在南北方向上也存在相同的变化趋势。从三芳甾烷参数分布分析可知,塔河油田存在 3 个的方向的油气充注,即由东向西、由南向北、南东向北西。

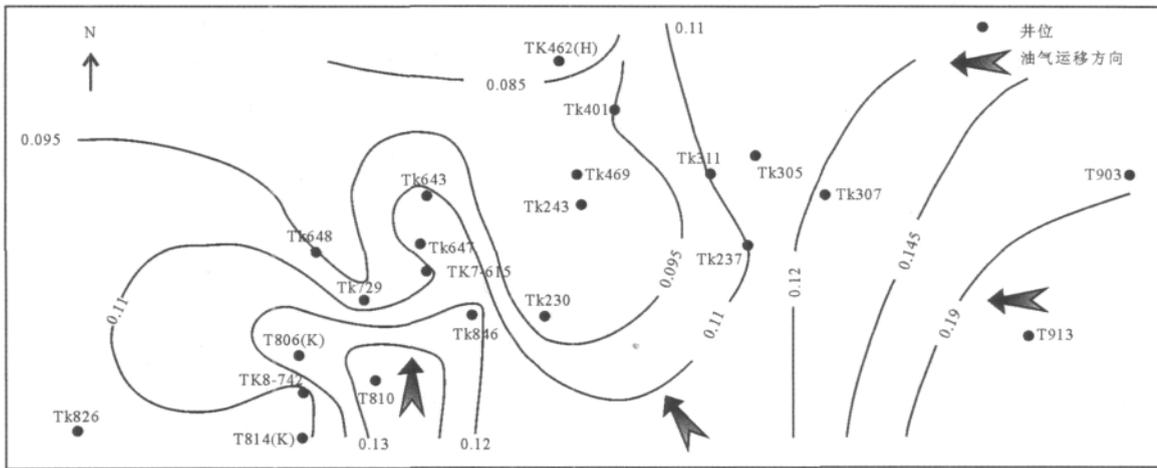


图 3 $TA(I)/TA(II+I)$ 指数平面分布等值线图

Fig. 3 Distributing graph of the ratio of $TA(I)/TA(II+I)$ in the oils of Tahe Oilfield

甲基萘指数也是重要的成熟度参数^[15-16],其随着成熟度的升高而增大,其原因在于 β 位的 2-甲基萘较 α 位 2-甲基萘更稳定,因此,热成熟作用导致的甲基重排作用使得 β 位的 2-甲基萘相对 α 位 2-甲基萘含量增加。由图 4 可知,甲基萘指数 (MNR) 由南部八区 T814 井和 TK8-742 井的 2.60 ~ 2.70 降低到六区的 2.00 以下;从九区的 TK913 井的 2.80 到 3 区的 TK307 井则降低为 2.20,至六区该参数降低到 2.00 以下,说明原油在九区的成熟度

比三区、四区和六区的原油高,油气存在由 T913 井附近注入向 TK307 井运移,即由南东向北西运移的方向。八区原油的萘指数较四区、七区和六区高,说明存在油气由八区的 Tk814 井向四区、六区运移,即由南向北和由西南向东北方向运移。另外,由八区的 TK846 和二区的 TK230 井向四区和六区方向,甲基萘指数也呈降低的趋势,说明存在南东方向的油气充注过程。

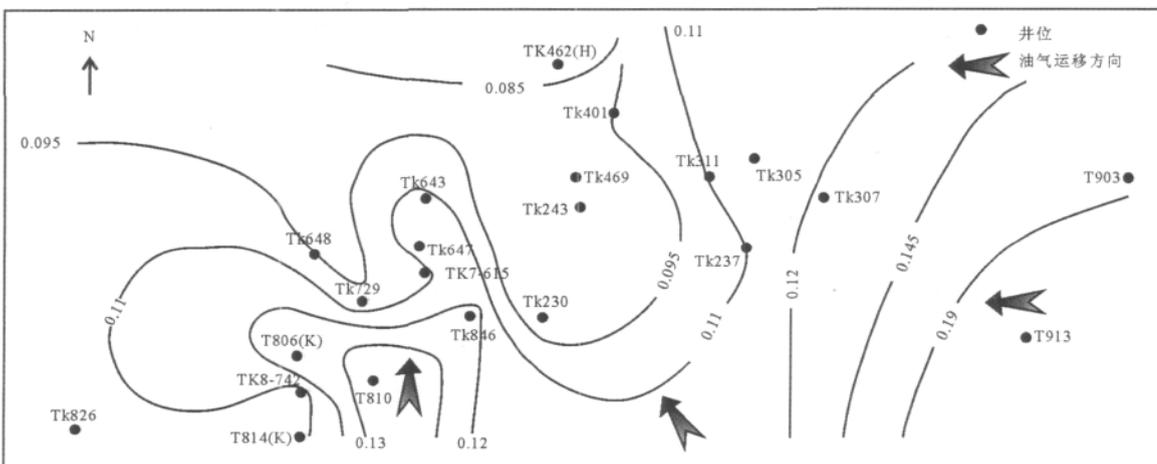


图 4 塔河油田奥陶系原油 MNR 指数平面分布图

Fig. 4 Distributing graph of the parameters of MNR of Ordovician oils, Tahe Oilfield

上述资料反映塔河油田原油存在3个油气运移方向。油气运移规律与区域构造环境相一致。原油主要分布于艾北高地南缘的斜坡—丘丛区,该区域具有相对稳定的有利区域水动力条件,长期处于油、气、水的相对低势区。原油的芳烃参数显示了塔河油田原油成熟度总体分布特征:九区奥陶系原油的成熟度高于其他油区奥陶系原油;八区奥陶系原油的成熟度整体上高于北部和西部其他油区的奥陶系原油。塔河油田原油成熟度这种分布特征是研究区烃源岩长期演化、多期油气聚集成藏和后期改造及储集体分隔等多种因素综合影响的结果。九区原油成熟度较高,25—降藿烷参数明显低于其他区块,说明其成藏期较晚,可能是油区东部晚期高一过成熟原油注入的结果,这也与油区东部以天然气—凝析气为主的勘探实际是一致的。前人已经通过储层沥青、流体包裹体、油气藏饱和压力/露点压力等研究认为,塔河油田油气藏的形成期主要有3期:海西晚期、燕山—喜马拉雅早期和喜马拉雅晚期^[3-4,15]。塔河油田九区油气藏的主要成藏期为喜马拉雅中—晚期,其他油气藏主要形成于海西晚期—喜马拉雅运动晚期。这种认识也被研究原油中双金刚烷指标和氦同位素研究结果所证实^[16-17]。

4 结 论

本文选取了对应原油成熟度值范围较广、抗生物降解能力强的芳烃参数,如4—1—甲基苯并噻吩、MNR指数、TA(I)/TA(II+I)等新参数指标研究了塔河油田油气运移规律。研究表明4—1—甲基苯并噻吩、MNR指数、TA(I)/TA(II+I)等参数指标适用于塔河油田这种成熟度高、且遭受过严重生物降解原油的油气运移研究。这些指标指示塔河油田奥陶系原油运移有3个方向,即由东向西、由南向北、由南东向北西。九区原油成熟度较高,说明它们成藏期较晚,特别是九区奥陶系油气藏的主要成藏期可能为喜马拉雅中—晚期,其他油气藏主要形成于海西晚期—喜马拉雅运动晚期。

参考文献:

- [1] 周玉琦,黎玉战,侯宏斌. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践和认识[J]. 石油实验地质,2001,23(4):363-367.
- [2] 顾忆,黄继文,邵志兵. 塔河油田奥陶系油气地球化学特征及油气运移[J]. 石油实验地质,2003,25(6):743-750.
- [3] 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.
- [4] 王敦则,黎玉战,俞仁连. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统油藏特征及成藏条件分析[J]. 石油实验地质,2003,25(2):122-128.
- [5] 李通国,王辉,丁勇. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油气藏石油地质条件[J]. 新疆石油地质,2002,23(6):493-495.
- [6] 王传刚,王铁冠,张卫彪,等. 塔里木盆地北部塔河油田原油分子地球化学特征及成因类型划分[J]. 沉积学报,2006,24(6):901-909.
- [7] 马安来,张水昌,张大江,等. 轮南、塔河油田稠油油源对比[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):31-38.
- [8] 梁狄刚,张水昌,张宝民,等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘,2000,7(4):534-547.
- [9] 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.
- [10] 魏志彬,张大江,张传禄,等. 甲基二苯并噻吩分布指数(MDBI)作为烃源岩成熟度标尺的探讨[J]. 地球化学,2001,30(3):242-247.
- [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):480-484.
- [12] BUDZINSKI H, RAYMOND N, NADALIG T, et al. Aerobic biodegradation of alkylated aromatic hydrocarbon by a bacterial community[J]. Org Geochem,1998,28(5):337-348.
- [13] 倪春华,包建平,顾忆. 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(8):386-389.
- [14] 姜乃煌,张水昌,林永汉,等. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油分子化石的解释[M]. 北京:石油工业出版社,1995,173-175.
- [15] 丁勇,晏银华,顾忆,等. 塔里木盆地塔河油田成藏史与成藏机制[J]. 新疆石油地质,2001,22(6):478-480.
- [16] 段毅,郑朝阳,段晓晨,等. 塔河油田油气成因和运移的氦同位素证据[J]. 天然气工业,2007,27(3):28-31.
- [17] 段毅,王传远,郑朝阳,等. 塔里木盆地塔河油田原油中双金刚烷分布特征与油气运移[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):693-696.

(编辑 雷雁林)