

文章编号: 1001- 6112(2006)02- 0168- 05

伊朗库姆盆地原油地球化学特征

许 丽^{1,2}, 王拥军³, 李 政²

(1. 中国石油大学, 山东 东营 257061; 2. 中国石化 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015; 3. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要: 伊朗库姆盆地已发现 2 类成熟原油: 1) 卡山区块原油类异戊二烯中植烷与姥鲛烷均势; 萘烷中以 C₃₀ 藿烷为主, 含有较高的 T_s、C₃₀ 重排藿烷, γ 蜡烷较低; 甾烷中重排甾烷含量高。厄尔布尔士油田原油类异戊二烯含量低, 植烷优势明显; 萘烷中 T_s、C₃₀ 重排藿烷含量较低, γ 蜡烷含量较高; 甾烷中重排甾烷含量低。油-油对比表明, 原油来自 2 套不同沉积环境的源岩, 展示了伊朗库姆盆地内具有良好的烃源条件。

关键词: 甾烷; 萘烷; 类异戊二烯; 生物标志化合物; 库姆盆地; 伊朗
中图分类号: TE122. 1 文献标识码: A

卡山区块位于伊朗中部库姆盆地的东南收敛部, 是中石化承担的第一个对外区块, 勘探程度较低。法国 ELF 公司、伊朗石油部在库姆盆地中部地区已相继发现了萨拉杰赫(Sarajeh)凝析气田和厄尔布尔士油田, 但卡山地区一直没有突破。2002—2003 年胜利油田在卡山地区进行了风险勘探, 并于 2004 年 1 月在伊朗卡尚市东北约 11. 9 km 处钻探 Arn- 1 井, 发现日产千吨的高产油气流, 展示了卡山地区良好的勘探前景。本文主要探讨和对比在该盆地内已发现原油的主要有机地球化学特征, 并以此初步推测可能的油源岩性质, 为进一步认识该盆地石油地质特征和油气资源潜力提供参考。

1 地质概况

库姆盆地位于伊朗中部地区, 北部为厄尔布尔士山脉, 西南部与扎格罗斯逆冲带相接, 面积 10 660 km² (图 1)。

盆地基底由前寒武系变质岩组成, 在发展演化过程中, 沉积了多套海相碳酸盐岩和陆相碎屑岩^[2-5], 初步的勘探表明, 盆地主要发育海陆交互相中下侏罗统舍姆沙克组、海相白垩系和海相始新统库姆组 3 套地层^[1-6], 储集层为渐新统一中新统的库姆组^[7]。

2 样品和实验

2.1 样品

原油样品分别来源于盆地中部厄尔布尔士油

田 Alborz- 9 井和卡山区块 Arn- 1 井库姆组碳酸盐岩储层, 均为地下深部原油。

2.2 实验

原油脱水、去杂质, 分别用正己烷、二氯甲烷、酒精、氯仿(分析纯)抽提不同组分。饱和烃色谱分析所用仪器为配有火焰离子检测器(FID)的 HP6890 色谱仪, 配备 HP- 5 型 30 m × 320 μ m × 0. 25 μ m 弹性石英毛细柱; 涂层为 5% 甲基硅酮, 以氮气作为载气; 升温程序为初温 80 $^{\circ}$ C, 升温速率为 5 $^{\circ}$ C/min, 终温为 310 $^{\circ}$ C。饱和烃 GC/MS 分析所用仪器为 HP GC/MS/IRD, 备有 DB5- MS 型 60 m × 0. 25 mm

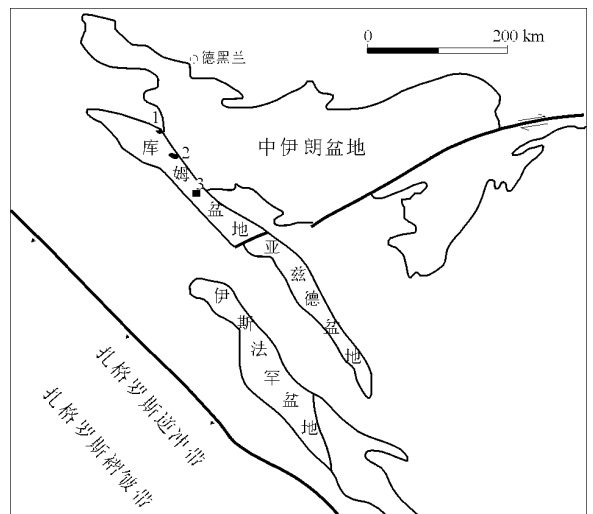


图 1 伊朗库姆盆地位置

1. 厄尔布尔士油田(Alborz- 9 井); 2. 萨拉杰赫凝析气田;
3. 卡山区块(Arn- 1 井)

Fig. 1 Location map of the Qom Basin of Iran

收稿日期: 2005- 03- 16; 修订日期: 2006- 03- 01。

作者简介: 许 丽(1964—), 女(汉族), 山东海阳市人, 在读博士生、高级工程师, 主要从事地质综合研究工作。

基金项目: 国家自然科学基金(40363024)。

× 0.25 μm 毛细柱。样品直接注入温度为 320 °C 的分流注入器; 升温程序为初温 110 °C, 升温速率为 4 °C/min, 终温为 320 °C, 检测温度为 320 °C; 电子轰击(EI)方式, 70eV, 全扫描采集。

3 原油的地球化学特征

3.1 原油的成熟度

饱和烃色谱分析表明(表 1), Alborz-9 井和 Arn-1 井原油表征成熟度参数的 $C_{29} \text{甾烷 } 20S/20(S+R)$ 和 $C_{29} \alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 分别为 0.5, 0.59 和 0.47, 0.58; 藿烷差向异构体比值也较高, $C_{31} \text{藿烷 } 22S/(22S+22R)$ 分别为 0.59 和 0.58, $C_{32} \text{藿烷 } 22S/(22S+22R)$ 分别为 0.58 和 0.59, 这些均表明 2 块原油为成熟原油^[8,9]。据饱和烃色谱参数计算 CPI 值分别为 0.94 和 0.99, 均接近 1.0, 同样显示了成熟油的特征^[10-12]。原油族组成中饱/芳比较高, 分别为 6.27 和 2.01, 也证明原油应该为成熟原油^[13]。

综合以上各类成熟度参数可以很清楚地看出, Arn-1 井和 Alborz-9 井原油属于成熟原油, 并且成熟度较为接近, 这为原油的油-油对比工作提供了可对比的前提。

3.2 原油族组成特征

由原油族组成分析结果可以看出(表 2), Arn-1 井原油饱和烃含量为 61.92%, 芳烃含量为 30.83%, 非烃和沥青质含量较低, 分别为 2.85% 和 4.4%, 表现出高饱和烃、高芳烃、低非烃、低沥

青质“两高两低”的特征。而 Alborz-9 井原油饱和烃含量为 64.59%, 芳烃含量为 10.30%, 非烃含量较高, 为 20.43%, 沥青质含量仅为 4.68%, 表现出高饱和烃、高非烃、高芳烃和低沥青质“三高一低”的特征。在成熟度相当的情况下, Alborz-9 井和 Arn-1 井原油族组成差别较大, 说明 2 块原油样品可能源自不同的成油母质; 另一方面, 2 块原油样品总烃含量较高, 表明原油性质均较好^[11]。

3.3 原油饱和烃色谱特征

Alborz-9 与 Arn-1 井原油样品饱和烃色谱均呈前峰型(表 3)。Alborz-9 正烷烃碳数分布范围为 $C_{17}-C_{39}$, 主峰碳为 C_{22} ; Arn-1 井原油正烷烃碳数分布范围为 C_9-C_{33} , 主峰碳为 C_{15} ; 2 块原油低高碳数比 C_{21}^-/C_{22}^+ 分别为 1.34 和 2.41, 均呈现出低碳数优势的特征, 显示原油成油母质应有水生低等生物输入的特征^[8,10]。

Alborz-9 井原油样品异戊二烯类丰度较高, Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 分别为 2.2 和 2.81; 姥植烷表现为植烷优势, $Pr/Ph = 0.18$ (表 3)。一般在开阔水体条件下沉积的岩石所生成的油, 其 $Pr/nC_{17} < 0.5$ ^[8,14], 该值 > 1.0 时为沼泽环境, 介于二者之间为过渡相环境; $Pr/Ph > 3$ 一般指示在较氧化条件下的陆源输入, 而 $Pr/Ph < 0.6$ 则指示具有还原的、通常是高盐度的环境^[7]。Alborz-9 井原油类异戊二烯的特征说明原油的成油母质形成于还原-强还原的相对闭塞的沉积环境。Arn-1 井原油样品异戊二烯类含量较低, Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 均

表 1 伊朗库姆盆地原油成熟度参数表

Table 1 Parameters of maturity statistics of crude oils in the Qom Basin of Iran

| 井号 | 取样深度/m | $C_{29} \text{ 20S/}$ (20S+ 20R) | $C_{29} \alpha\beta\beta/$ ($\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta$) | CPI | $C_{31} \text{ 藿烷 } 22S/$ (22S+ 22R) | $C_{32} \text{ 藿烷 } 22S/$ (22S+ 22R) | 饱/芳 |
|----------|--------------|-------------------------------------|---|------|---|---|------|
| Alborz-9 | 2 679.5 | 0.50 | 0.59 | 0.94 | 0.59 | 0.58 | 6.27 |
| Arn-1 | 3 499~ 3 545 | 0.47 | 0.58 | 0.99 | 0.58 | 0.59 | 2.01 |

表 2 伊朗库姆盆地原油样品的族组成数据表

Table 2 Data of the fractions of crude oils in the Qom Basin of Iran

| 井号 | 取样深度/m | 层位 | 烷烃,% | 芳烃,% | 非烃,% | 沥青质,% | 总烃,% |
|----------|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alborz-9 | 2 679.5 | Qom | 64.59 | 10.30 | 20.43 | 4.68 | 74.89 |
| Arn-1 | 3 499~ 3 545 | Qom | 61.92 | 30.83 | 2.85 | 4.40 | 92.75 |

表 3 伊朗库姆盆地原油饱和烃色谱参数表

Table 3 Gas chromatograms of saturated hydrocarbon of crude oils in the Qom Basin of Iran

| 井名 | 深度/m | 碳数峰型 | 碳数范围 | 主峰碳 | Pr/nC_{17} | Ph/nC_{18} | Pr/Ph | C_{21}^-/C_{22}^+ |
|----------|--------------|------|--------|----------|--------------|--------------|---------|---------------------|
| Alborz-9 | 2 679.5 | 前峰型 | 15~ 39 | C_{22} | 2.20 | 2.81 | 0.18 | 1.34 |
| Arn-1 | 3 499~ 3 545 | 前峰型 | 9~ 33 | C_{15} | 0.49 | 0.49 | 1.05 | 2.41 |

为 0.49, 姥鲛烷与植烷均势, $Pr/Ph = 1.05$, 显示原油的成油母质形成于还原—弱还原的相对开阔的沉积环境, 与 Alborz-9 井原油成油母质相比较, 其源岩应沉积于更为氧化的沉积环境, 显示 2 类原油成油母质沉积环境具有一定的差异。

3.4 原油饱和烃甾类生物标志物特征

Alborz-9 井和 Arn-1 井原油样品甾烷中都以规则甾烷为主(图 2), $C_{27} > C_{28} < C_{29}$, 呈“V”字型分布, C_{27} 与 C_{29} 甾烷含量相当, C_{28} 甾烷含量较低, 反映母源均以陆源高等植物与水生生物混源的特征^[8, 15, 16]。2 块原油低碳数的妊甾烷、高妊甾烷均具有一定含量, 分别占 $C_{27} - C_{29}$ (20R) 甾烷的 19% 和 16%, 表征原油成熟度较高或成油母质具有浅水环境下的菌藻类物质的输入^[8]。

Alborz-9 井原油重排甾烷含量较低, C_{27} 重排/规则甾烷为 0.12, 而 Arn-1 井原油重排甾烷含量较高, C_{27} 重排/规则甾烷为 0.37(表 4)。粘土中酸性物质的催化作用被认为是沉积物中重排甾烷形成的机理, 此外还受成熟度和沉积环境的影

响^[17, 18], Alborz-9 井原油在较高的成熟度下仍保持较低含量的重排甾烷表明其母源的沉积环境相对还原。重排甾烷含量的差异表明 Arn-1 井原油的成油母质比 Alborz-9 井原油母质的沉积环境更为氧化。

3.5 原油饱和烃萜类生物标志物特征

Alborz-9 井原油和 Arn-1 井原油样品萜烷中都以五环萜烷为主(图 3), 但 Alborz-9 井原油 T_s 含量较低, $T_s/T_m < 0.5$, C_{30} 重排/ C_{30} 藿烷 = 0.07; 而 Arn-1 井原油 $T_s/T_m = 1.06$, 萜烷中含有较高的 C_{30} 重排藿烷含量, 其 C_{30} 重排/ C_{30} 藿烷 = 0.21(表 4)。 T_s 、 C_{30} 重排藿烷具有一定的含量, C_{30} 重排藿烷一般在具有粘土的亚氧化沉积环境的沉积物中比较发育^[19, 20], 可能与粘土介质对藿烯的酸性催化反应所形成的藿烷有关, 在强还原的海相环境中很难检测出这种化合物; T_s 在同样的沉积环境中发育^[9], 但受成熟度的影响较大, 一般随成熟度增高而增加。结合前面对原油成熟度的分析可以证实, Alborz-9 原油源岩沉积环境为强还

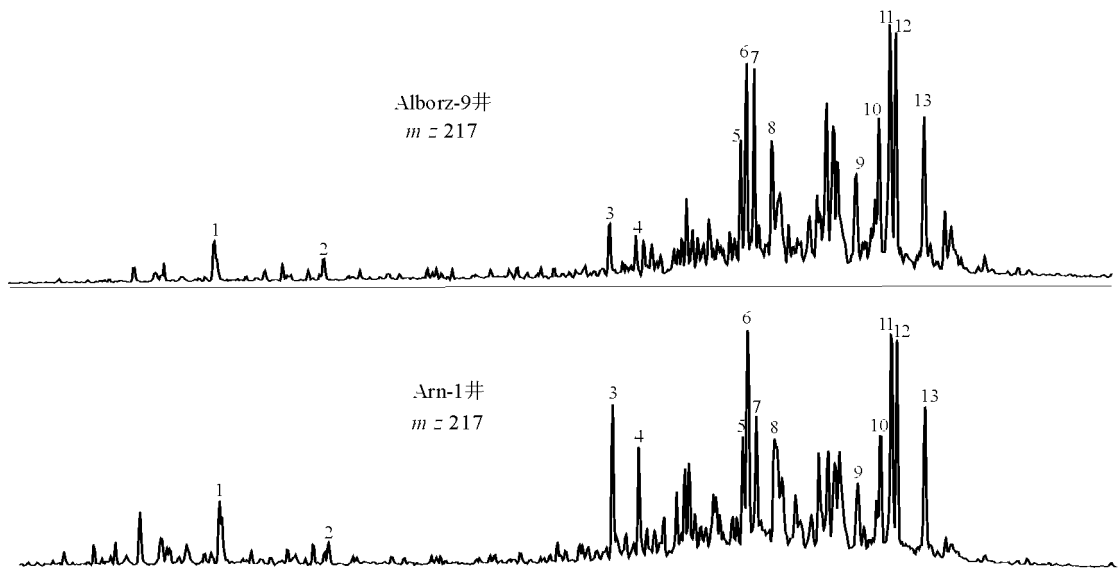


图 2 伊朗库姆盆地 Alborz-9 井与 Arn-1 井原油饱和烃甾烷色谱图谱

- 1. C_{21} 孕甾烷; 2. C_{22} 孕甾烷; 3. $\beta\alpha - C_{27}$ 重排甾烷 20S; 4. $\beta\alpha - C_{27}$ 重排甾烷 20R; 5. $\alpha\alpha - C_{27}$ 胆甾烷 20S;
- 6. $\alpha\beta\beta - C_{27}$ 异胆甾烷 20R + C_{29} 重排; 7. $\alpha\beta\beta - C_{27}$ 异胆甾烷 20S; 8. $\alpha\alpha - C_{27}$ 胆甾烷 20R; 9. $\alpha\alpha - C_{28}$ 胆甾烷 20R;
- 10. $\alpha\alpha - C_{29}$ 胆甾烷 20S; 11. $\alpha\beta\beta - C_{29}$ 异胆甾烷 20R; 12. $\alpha\beta\beta - C_{29}$ 异胆甾烷 20S; 13. $\alpha\alpha - C_{29}$ 胆甾烷 20R

Fig. 2 GC/MS chromatograms of steranes of the crude oil from Well Arn-1 and Well Alborz-9, the Qom Basin of Iran

表 4 伊朗库姆盆地原油饱和烃色谱参数表

Table 4 GC/MS chromatograms of saturated hydrocarbon of crude oils in the Qom Basin of Iran

| 井名 | 取样层位 | 深度/m | 重排甾烷 / 规则甾烷 | C_{27} | C_{28} | C_{29} | γ 蜡烷 / C_{30} 藿烷 | C_{30} 重排 / C_{30} 藿烷 | T_s/T_m |
|----------|------|-------------|-------------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------------|-----------|
| Alborz-9 | 库姆组 | 2 679.5 | 0.120 | 32.3 | 28.3 | 39.4 | 0.34 | 0.07 | 0.48 |
| Arn-1 | 库姆组 | 3 499~3 545 | 0.365 | 38.6 | 23.8 | 37.6 | 0.13 | 0.21 | 1.06 |

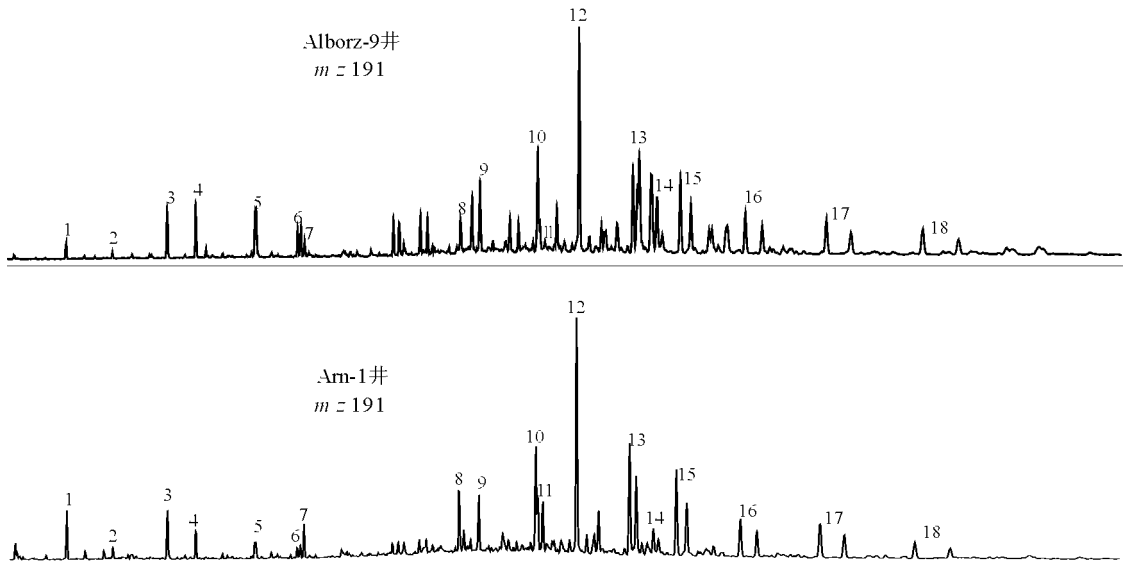


图3 伊朗库姆盆地 Alborz- 9 井与 Arn- 1 井原油萜烷色质图

1. C₂₁三环萜烷; 2. C₂₂三环萜烷; 3. C₂₃三环萜烷; 4. C₂₄三环萜烷; 5. C₂₅三环萜烷;
6. C₂₆三环萜烷; 7. C₂₄断萜烷; 8. Ts; 9. Tm; 10. αβ- C₂₉降藿烷; 11. C₃₀重排藿烷; 12. αβ- C₃₀藿烷;
13. C₃₁升藿烷; 14. γ- 蜡烷; 15. C₃₂升藿烷; 16. C₃₃升藿烷; 17. C₃₄升藿烷; 18. C₃₅升藿烷

Fig. 3 GC/MS chromatograms of terpanes of the crude oil from Well Arn- 1 and Well Alborz- 9 in the Qom Basin of Iran

原环境,比 Arn- 1 井原油源岩的沉积环境相对更为还原。

Alborz- 9 井原油中 γ 蜡烷含量较高, γ 蜡烷/C₃₀藿烷 = 0.34, 表明母源沉积环境水体较为咸化; 而 Arn- 1 井原油 γ 蜡烷含量相对较低, γ 蜡烷/C₃₀藿烷 = 0.13, 母源应该为水体相对淡化的沉积产物^[9, 21]。2 块原油 γ 蜡烷含量的差异, 表明 Alborz- 9 井原油较 Arn- 1 井原油源岩沉积环境更为咸化, 这与原油异戊类二烯烃 Pr/Ph 参数的特征一致, 更加证实了 2 块原油成油母质的不同源性。此外 2 块原油样品的三环萜烷都有一定含量, 碳数分布范围为 C₁₉—C₂₉, 但其三环萜烷构型差异也较大, Arn- 1 井以 C₂₁、C₂₃ 为主峰, 而 Alborz- 9 井以 C₂₃、C₂₄ 为主峰(图 3), 同样表明 2 块原油的成油母质不同。

4 结论

伊朗库姆盆地已发现的原油均为成熟原油, 成油母质为陆源高等植物与低等水生生物混源的产物。Arn- 1 井原油成油母质源于沉积在水体微咸化—半咸化的弱还原—还原环境的沉积产物, 厄尔布尔土原油源于沉积在水体半咸化—咸化的还原环境的沉积产物, 2 种原油生物标记化合物特征具有一定的差异, 来源于不同沉积环境的母质, 表明库姆盆地内具有 2 套有效烃源岩, 展示伊朗库姆盆

地具有良好的烃源条件。

致谢: 本文写作过程中张林晔老总、陈致林高工提出了宝贵意见, 在此深表感谢。

参考文献:

- 1 Stocklin A J, Setudehnia A. Stratigraphic lexicon of Iran, report No 18[M]. 3rd ed. Teheran: Geological survey of Iran, 1991. 192~ 197; 244~ 246
- 2 王世虎, 李政, 周文等. 伊朗库姆盆地油气成藏机理分析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 236~ 240
- 3 葛瑞全, 洪太元, 冉江龙. 伊朗 KASHAN 区块库姆组碳酸盐岩层序地层特征[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(5): 12~ 15
- 4 王同良. 国外含油气盆地简介[M]. 北京: 中国石油天然气总公司信息研究所, 1997. 231~ 233
- 5 齐勋. 伊朗卡山地区第三系沉积演化与构造运动分析及储层特征[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(4): 10~ 12
- 6 王世虎, 李政, 夏斌等. 伊朗卡山地区侏罗系 Shemshak 组烃源岩特征研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 769~ 772
- 7 于俊峰, 夏斌, 王世虎等. 伊朗盆地卡山地区第三系库姆组碳酸盐岩储层特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 378~ 382
- 8 Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker fossils in petroleum and ancient sediments original[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1993. 363
- 9 Seifert W K, Moldowan J M. Paleoreconstruction by biological markers[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1981, 45: 783~ 794
- 10 Philip C T. The influence of marine and terrestrial source material on the composition of petroleum[J]. Geochim et Cosmochim Acta, 1974, 38: 947~ 966
- 11 Bray E E, Evans E D. Distribution of n-paraffins as a clue to

- recognition of source beds[J]. *Geochim et Cosmochim Acta*, 1961, 22: 2~ 15
- 12 Scalan R S, Smith J E. An improved measure of the odd/even predominance in the normal alkanes of sediment extracts and petroleum[J]. *Geochim et Cosmochim Acta*, 1970, 34: 611~ 620
- 13 Tissot B P, Welte D H. *Petroleum formation and occurrence* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1987
- 14 Lijmbach G W M. On the origin of petroleum[A]. In: *Proceedings 9th World Petroleum Congress Vol 2*[C]. London: Applied Science Publishers, 1975. 357~ 369
- 15 Mackenzie A S, Li R W, Maxwell J R, et al. Molecular measurements of thermal maturation of Cretaceous shales from the Overthrust Belt, Wyoming, USA[A]. In: *Bjorøy Med. Advances in Organic Geochemistry 1981*[C]. New York: Wiley and Sons, 1983. 496~ 503
- 16 Moldovan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks[J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1985, 69: 1 255~ 1 268
- 17 Rubinstein I, Sieskind O, Albrecht P. Rearranged steranes in a shale: occurrence and simulated formation[J]. *Journal of the Chemical Society. Perkin Transaction*, 1975: 1 833~ 1 836
- 18 Sieskind O, Joly G, Albrecht P. Simulation of the geochemical transformation of sterols superacid effects of clay minerals [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43: 1 675~ 1 679
- 19 Volkman J K, Alexander R, Kagi R I, et al. A geochemical reconstruction of oil generation in the Barrow Sub-basin of Western Australia[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1983, 47: 2 091~ 2 106
- 20 Philp R P, Gilbert T D. Biomarker distributions in oils predominantly derived from terrigenous source material[A]. In: *Leythaeuser D, ed. Advances in Organic Geochemistry 1985* [C]. Oxford: Pergamon Press, 1986. 73~ 84
- 21 洪志华, 陈致林, 张春荣. 济阳坳陷低熟原油特征及成因[J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 89~ 94

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF OIL IN THE QOM BASIN OF IRAN

Xu Li^{1,2}, Wang Yongjun³, Li Zheng²

(1. *University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China;*

2. *Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China;*

3. *Resource Institute of China University of Geosciences, Beijing 100083, China)*

Abstract: It is matured oil that two kinds of crude oil have been discovered in the Qom Basin of Iran. The abundance of isoprenoidies is relatively low, and no preference between pristane and phytane of crude oil in the Kashan block. There are relatively high abundance of Ts, C₃₀-diahopane and low abundance of gammacerane in trepans. There is relatively high concentration of diacholestane in steranes. The abundance of isoprenoidies is relatively high, and there is preference phytane of crude oil in the Alborz oilfield. There are relatively low abundance of Ts, C₃₀-diahopane and high abundance of gammacerane in trepans. There is relatively low concentration of diacholestane in steranes. These geochemical characteristics of crude oils show that they generated from different of sediment. It indicates that there are good conditions of source rock.

Key words: sterane; trepane; isoprenoidies; biomarkers, the Qom Basin; Iran