

文章编号: 1000-0550(2007)04-0640-06

卡塔克隆起中 1 井储层沥青地球化学特征与成因^①

唐友军^{1 2 3} 王铁冠¹ 钱一雄⁴

(1 中国石油大学(北京)石油天然气成藏机理教育部重点实验室 北京 102249 2 油气资源与勘探技术教育部重点实验室 湖北荆州 434023
3 长江大学地球化学系 湖北荆州 434023 4 中国石化石油勘探开发研究院西部分院 乌鲁木齐 830011)

摘要 塔里木盆地海相原油的成因至今仍有争议,而对储层沥青的地球化学特征剖析,能为探索海相原油的成因提供依据。选取卡塔克隆起上的中 1 井不同层系储层沥青,详尽剖析了其地球化学特征。研究结果揭示,中 1 井储层沥青的 Pr/Ph 为 1.14~1.39 CPI 值 1.01~1.08 OEP 值 0.98~1.05 无奇偶优势或偶奇优势,伽玛蜡烷、 C_{28} 甾烷丰度低,硫芴系列丰富。甾烷成熟度参数和 $Ts/(Ts+Tm)$ 均指示中 1 井储层沥青处于成熟—高成熟热演化范畴。依据特征生物标志物的分布对沥青的成因示踪,中 1 井储层沥青与上奥陶统烃源岩有成因关系,而中 1 井储层沥青与塔东 2 井寒武系原油分子特征的迥异也佐证该认识。

关键词 卡塔克隆起 储层沥青 生物标志物组合 成熟度 油—岩对比

第一作者简介 唐友军 男 1975 年出生 在读博士 地球化学 E-mail tangyoujun1975@sohu.com

中图分类号 P593 **文献标识码** A

塔里木盆地古生界油源问题至今仍未得到很好地解决^[1~3]。前人已对盆地内分布广泛的志留系沥青砂成因有过论述^[6~11],研究认为志留系沥青砂岩含大量正构烷烃和相对丰富的异戊间二烯烷烃、高三环二萜烷且以 C_{23} 为主峰,高孕甾烷、高重排甾烷,成因分析表明志留系沥青砂岩是晚加里东运动形成的古油藏遭受早海西运动破坏的结果,碳同位素特征进一步证明沥青砂岩来源于下古生界生油岩。然而对不同层系的储层沥青的成因分析尚未见报道。本文试图通过对卡塔克隆起上的中 1 井不同层系储层沥青的地球化学特征系统剖析,为科学认识塔里木盆地古生界油源提供新的依据。

卡塔克隆起(又称塔中隆起)是塔里木盆地中央隆起带中段的二级构造单元,构造上受塔中 1 号、2 号断裂和边界断裂的控制,成为一个早期活动、晚期稳定的 $NWW-SEE$ 向古隆起。隆起的北面以 NW 向边界断层,与顺托果勒低隆起毗邻;南界为唐古巴斯坳陷。整个卡塔克隆起东西延伸长约 200 km,南北宽 20~30 km,东南部抬高,与东南断阶区衔接,向西北降低,止于阿瓦提断陷,面积为 24 500 km²。

中 1 井油藏位于卡塔克隆起西北段南侧的围斜带,即该井井位在塔中 10 号构造带西段 5 号断背斜构造高点上,在塔克拉玛干沙漠腹地中 10 井西南约 24 km 处(图 1)。中 1 井在奥陶系获得油流,但在石炭系、泥盆系、志留系砂岩或灰岩岩心中,都发现有储

层沥青(即不同级别油显示,包括含油、油斑、油迹)。

1 实验分析

共采集中 1 井储层沥青样 4 件,见表 1。称取岩样 50 g 粉碎后用氯仿抽提,获得氯仿沥青“A”。氯仿沥青“A”的沥青质用正己烷沉淀后,将其可溶物通过硅胶氧化铝层析柱,依次用正己烷和二氯甲烷冲洗,分离出饱和烃、芳香烃备用。

使用一台配置 DB-5 毛细柱和 IAS 数据处理系统的菲尼根 SSQ-710 型四极杆分析系统,作饱和烃和芳香烃馏分的 GC-MS 分析。GC 分析条件:采用氦作载气,进样器与检测器温度 300℃。饱和烃馏分升温程序:初始温度 100℃,恒温 1 min 后,以 4℃/min 升温速率升温到 220℃,再以 2℃/min 升温速率升温到 300℃,恒温 5 min。芳香烃馏分升温程序:初始温度 80℃,恒温 1 min 后,以 3℃/min 升温速率升温到 300℃,恒温 15 min。MS 分析条件:采用 EI 离子化模式,电子能量 70 eV,扫描范围为 50~550 amu。检测方式全离子扫描。依据与文献发表的标准谱图对比,鉴定化合物。

2 结果与讨论

2.1 储层沥青分子特征

2.1.1 储层沥青气相色谱特征

中 1 井 4 件储层沥青的饱和烃馏分气相色谱显

① 中国石油化工集团公司先导性基础研究项目、油气资源与勘探技术教育部重点实验室开放基金联合资助

收稿日期: 2006-11-29 收修修改稿日期: 2007-01-25

示出正烷烃系列的碳数分布范围为 $C_{12} \sim C_{36}$, 卡拉沙依组 (C_1kl)、柯坪塔格组 (S_1k) 储层沥青呈双峰态分布, 以前峰占优势, 主峰碳数 nC_{16} 次主峰 $nC_{23} \sim nC_{29}$ 东河塘组 (D_3d)、巴楚组 (C_1b) 储层沥青为单峰态, 前者为前峰型, 后者为后峰型, 主峰碳数分别为 nC_{16} 、 nC_{25} (图 2)。除了 C_1b 储层沥青低碳数 C_{20} - 链

烷烃严重损失, $C_{21} - C_{22+}$ 值仅为 0.01, Pr/Ph 、 Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 等参数均发生畸变, 其储层沥青的姥植比 (Pr/Ph) 为 1.14 ~ 1.39 CPI 值 1.01 ~ 1.08 OEP 值 0.98 ~ 1.05 (表 1), 不具备奇偶优势或偶奇优势, 展示出低等水生生物的生源优势与成熟-高成熟原油特征。

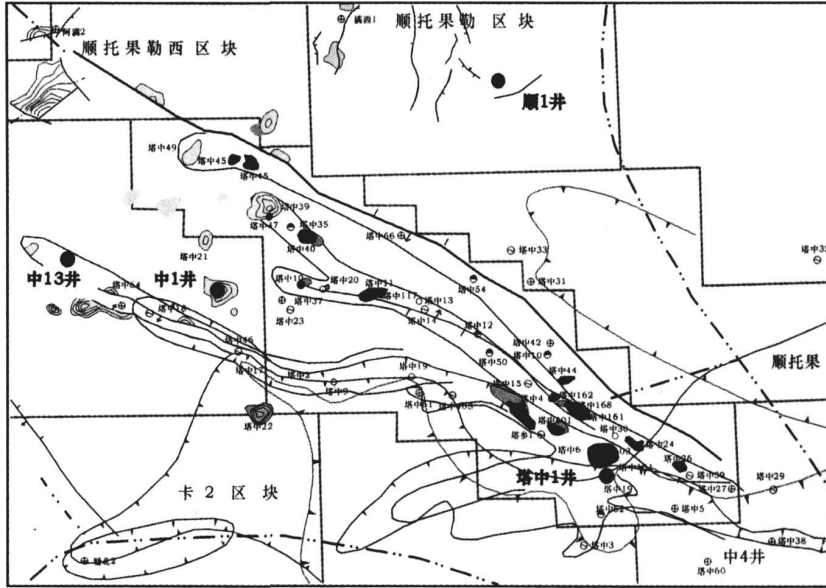


图 1 卡塔克隆起构造轮廓及中 1 井位分布

Fig. 1 Map showing tectonic framework of Katake uplift and location of Well Zhong1

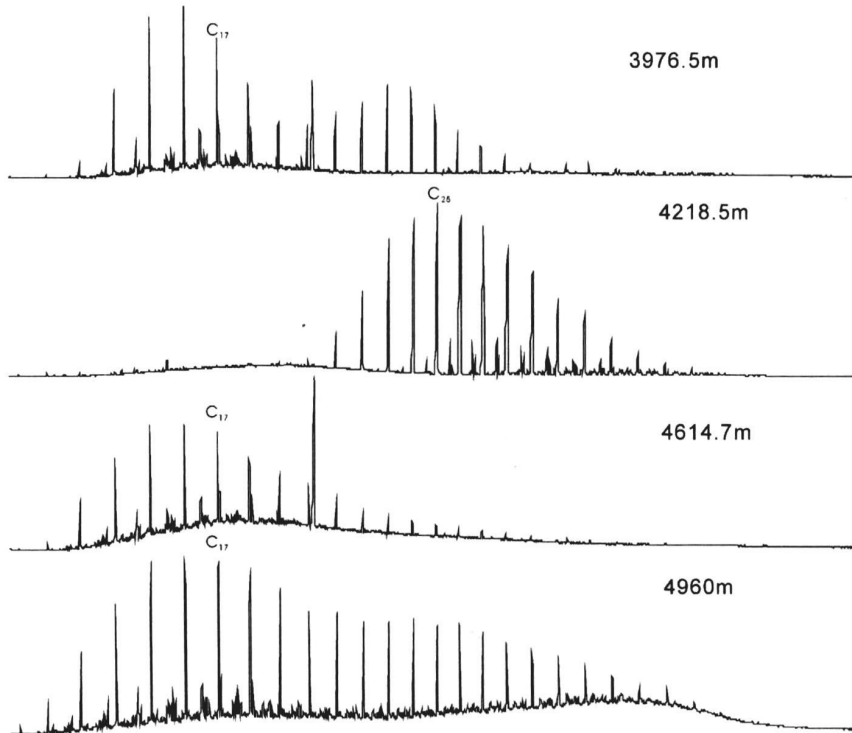


图 2 中 1 井储层沥青饱和烃气相色谱图

Fig. 2 Map showing saturated hydrocarbons gas chromatograph of reservoir bitumen from Well Zhong1

表 1 中 1 井储层沥青气相色谱参数

Table 1 Gas chromatograph parameters of reservoir bitumen from Well Zhong 1

井号	层位	井段 <i>m</i>	样品	主峰碳数	C_{21-} / C_{22+}	Pr/Ph	Pr/hC ₁₇	Ph/hC ₁₈	CPI	OEP
中 1	C ₁ k _l	3976 5	油迹粉砂岩	C ₁₆ , C ₂₃	0.98	1.14	0.40	0.53	1.08	0.98
	C ₁ b	4218 5	油斑砾屑灰岩	C ₂₅	0.01	-	-	-	1.15	1.11
	D ₃ d	4614 90	油迹钙质砂岩	C ₁₆ , C ₂₅	2.93	1.39	0.49	0.47	1.07	1.05
	S ₁ k	4960	油斑砂岩	C ₁₆ , C ₂₇	1.06	1.14	0.20	0.21	1.01	1.04

值得指出的是, 因气相色谱对生物降解、热熟化等次生作用敏感, 所以上述中 1 井 4 件储层沥青的饱和烃馏分气相色谱特征的差异不能归咎于源的因素, 恰恰相反, 4 件储层沥青的甾萜烷分布特征一致表明其同源, 这在下面有论述。

2.1.2 储层沥青甾萜烷分布特征

中 1 井储层沥青具有相同的萜烷组成, 具 C₁₉或 C₂₀三环萜烷优势, 伽玛蜡烷丰度低; D₃d 储层沥青与 C₁b 储层沥青中甾烷丰度甚低, 重排甾烷丰度相对较高, 而 S₁k 储层沥青与 C₁k_l 储层沥青中, 检测到完整的甾烷系列, 且与其重排甾烷丰度相当, C₂₈甾烷丰度明显低于 C₂₇与 C₂₉甾烷 (图 3)。

2.1.3 储层沥青多环芳烃分布特征

芴、氧芴 (二苯并呋喃) 及硫芴 (二苯并噻吩) 系列的相对丰度可以有效地反映油源岩沉积有机相特征。中 1 井储层沥青除检测到高丰度的菲系列外, 还检测到了丰富的硫芴含量, 硫芴含量高指示碳酸盐岩还原环境沉积特征^[12] (图 4)。

2.2 储层沥青成熟度

2.2.1 甾烷成熟度参数

作为最常使用的原油成熟度指标, 甾烷的两项异构化参数, 即 C₂₉ααα-甾烷 20S/(20S+20R) 和 C₂₉甾烷 αββ/(ααα+αββ), 主要适用于与镜质组反射率 R_o值 < 0.8% 相当的有机质成熟度范围, 即当 R_o值 ≥ 0.8% 时, 这两项参数均达到平衡终点, 参数值保持在 0.55~0.65 之间, 即便成熟度继续升高, 这两项参数的数值也不会再增加。因此, 在高成熟阶段, 甾烷异构体参数不再是有效的成熟度标志。

从图 5 可看出, 中 1 井储层沥青的甾烷异构化参数大都已经接近或达平衡终点值, 即实测的 C₂₉甾烷 20S/(20S+20R) 和 αββ/(ααα+αββ) 值分布范围分别为 0.46~0.55 和 0.45~0.56 处于成熟—高成熟的范畴, 与之相对应的 R_o 值分布在从 < 0.8% 至 ≥ 0.8% 的范围内。

2.2.2 新藿烷成熟度参数

Ts/(Ts+Tm) 不仅受成熟度影响, 而且与有机相或沉积环境有关, 但在评价来自同一有机相中同源岩的原油时, Ts/(Ts+Tm) 为最可靠的成熟度指标^[12]。据 Peters 和 Moldovan^[12] 界定 18(H)-新藿烷成熟度参数 Ts/(Ts+Tm) 与 R_o 值的对应关系, Ts/(Ts+Tm) = 1 时, 相应的 R_o 值为 1.40%, 已经进入过成熟阶段。因此, 作为成熟度参数, Ts/(Ts+Tm) 适用范围可延伸到高一过成熟原油的判识。如图 4 所示, 中 1 井储层沥青的 Ts/(Ts+Tm) 值的分布范围在 0.40~0.76 区间, 距 Ts/(Ts+Tm) 值 1.0 的上限尚远, 均未达到过成熟阶段; 若结合 C₂₉甾烷 αββ/(ααα+αββ) 参数分析, 综合界定处于成熟—高成熟的范畴。

2.3 储层沥青成因

2.3.1 与塔东 2 井原油生标特征迥异

前人研究均已证实, 塔东 2 井寒武系原油具自生自储特征, 是寒武系油源的典型代表^[13], 因此, 其所具有的生标特征可以作为区分寒武系或奥陶系油源的依据。从图 3 可以看出, 塔东 2 井寒武系原油具高伽玛蜡烷、高 C₂₈甾烷和低重排甾烷的特征, 与中 1 井储层沥青的分子特征明显不同, 由此表明两者不同源。

2.3.2 储层沥青—岩分子参数对比

塔里木盆地台盆区存在寒武系—下奥陶统和上奥陶统两套烃源岩, 寒武系—下奥陶统烃源岩具有高伽玛蜡烷、高 C₂₈规则甾烷及低重排甾烷等特征, 上奥陶统烃源岩则具有与之相反的特征^[2, 4, 5, 13]。伽玛蜡烷、C₂₈规则甾烷及重排甾烷生源意义明确, 可作为有效的油源对比参数^[12, 14]。图 3 展示依据上述分子化合物对中 1 井储层沥青的油—岩相关性对比的结果, 由于中 1 井储层沥青中甾烷的丰度甚低, 可能给追踪其油源岩带来困难, 但其伽玛蜡烷丰度低的特点, 与以塔中 12 井为代表的上奥陶统有效烃源岩分子特征类似, 表明其生源输入的一致性与油源的相关性。由此可确认两者具有成因上的相关性。

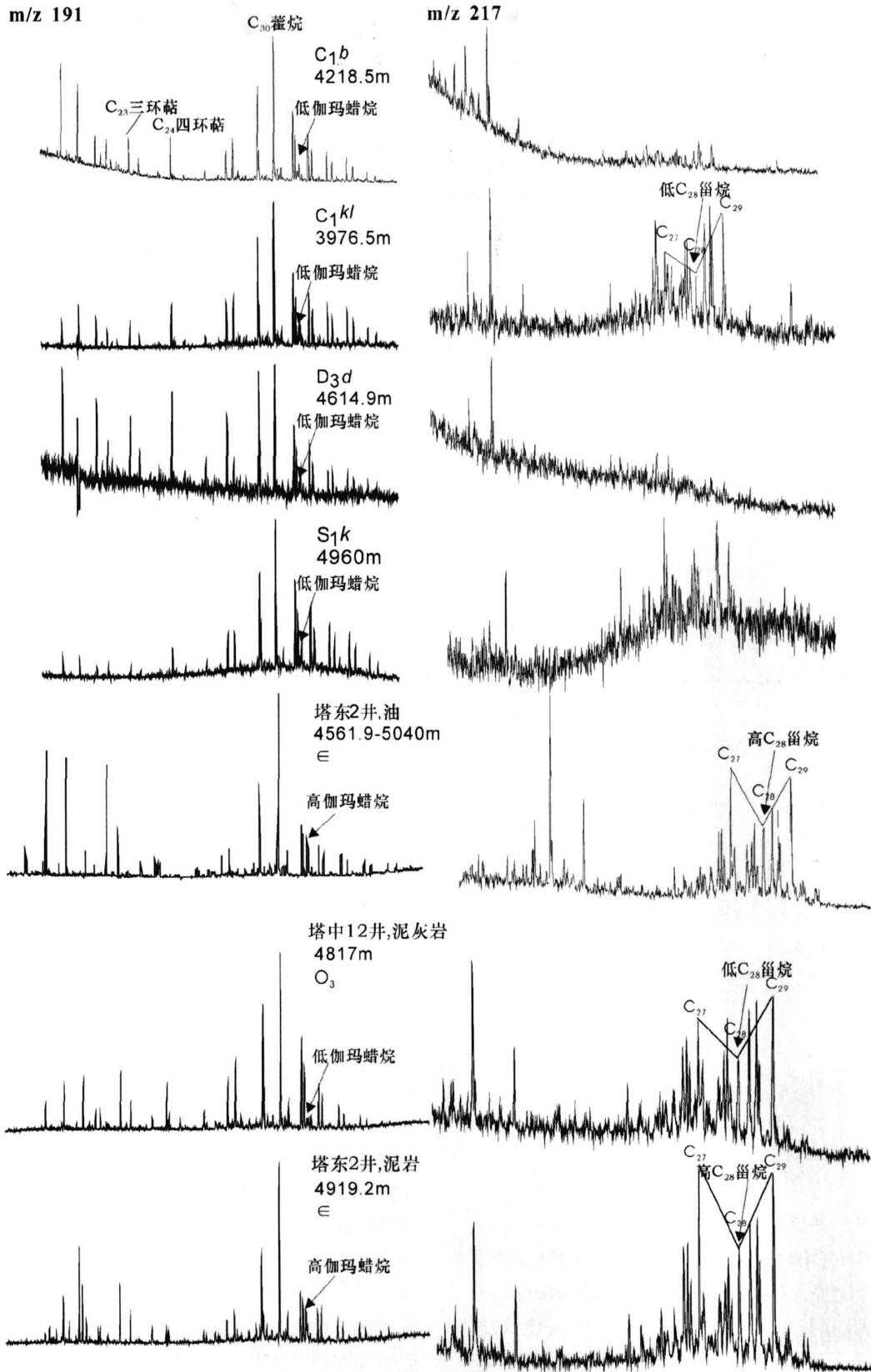


图 3 中 1 井储层沥青一岩对比图

Fig 3 Map showing oil source rock correlations of reservoir bitumen from Well Zhong1

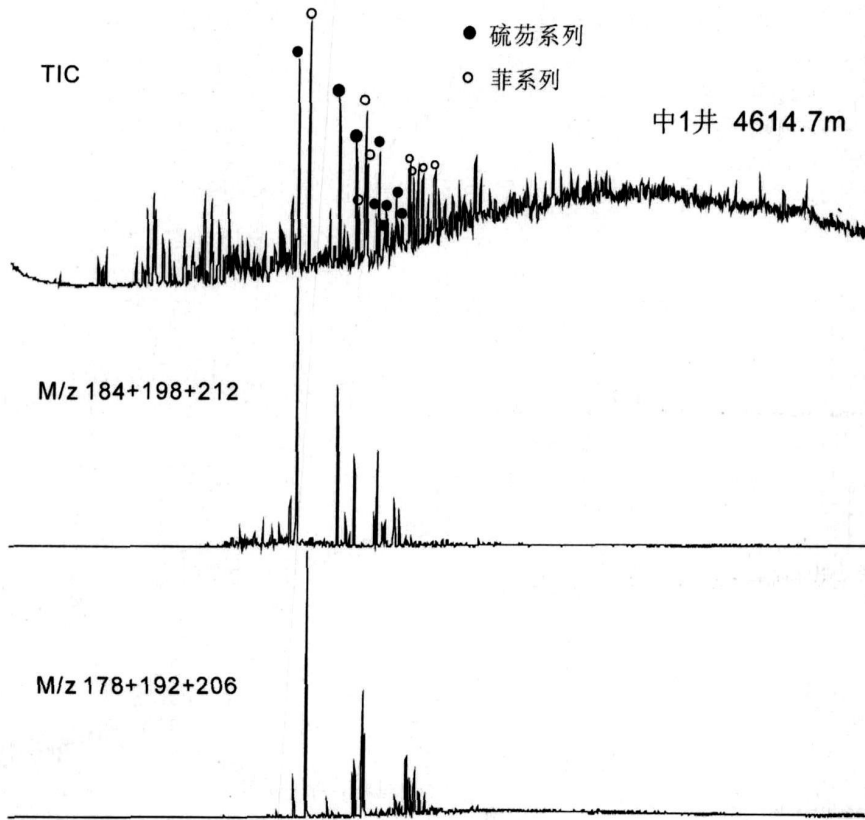


图 4 中 1 井储层沥青多环芳烃分布

Fig. 4 Map showing polycyclic aromatic hydrocarbon distribution of reservoir bitumen Well from Zhong1

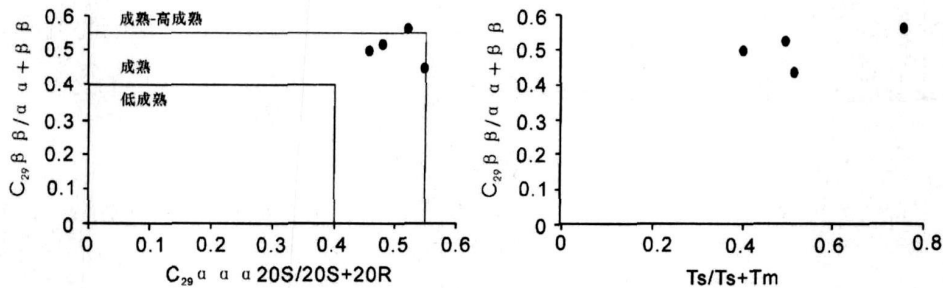


图 5 中 1 井储层沥青成熟度参数相关图

Fig. 5 Correlation diagram of maturity parameters of reservoir bitumen from Well Zhong1

3 结论

(1) 中 1 井储层沥青的 Pr/Ph 为 1.14 ~ 1.39 CPI 值 1.01 ~ 1.08 OEP 值 0.98 ~ 1.05 不具备奇偶优势或偶奇优势; 具 C_{19} 或 C_{20} 三环萜烷优势, 伽玛蜡烷丰度低, C_{28} 甾烷丰度明显低于 C_{27} 与 C_{29} 甾烷; 硫芴系列丰富, 指示碳酸盐岩还原环境沉积特征。

(2) 甾烷成熟度参数和 $Ts/(Ts+Tm)$ 界定中 1 井储层沥青处于成熟—高成熟热演化范畴。

(3) 储层沥青—岩分子参数对比显示, 中 1 井储

层沥青与上奥陶统烃源岩具有成因上的相关性; 中 1 井储层沥青与塔东 2 井寒武系原油分子特征的迥异也可佐证该认识。

参考文献 (References)

- 1 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. 地学前缘, 2000 7(4): 534-547 [Liang Digang Zhang Shuichang Zhang Baomin *et al* Understanding on marine oil generation in China based on Taim basin Earth Science Frontiers 2000 7(4): 534-547]
- 2 张水昌, 梁狄刚, 张宝民, 等. 塔里木盆地海相油气生成. 北京: 石

- 油工业出版社, 2005. 202-235 [Zhang Shuichang Liang Digang Zhang Baomia *et al* Marine Oil and Gas Generation of Tarim Basin Beijing Petroleum Industry Press. 2005. 202-235]
- 3 林青, 林壬子, 王培荣, 等. 塔中北斜坡西部原油类型及主力油源层. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 150-153 [Lin Qing Lin Renzi Wang Peirong *et al* Crude oil types and main source rocks in west part of North Slope Central Tarim. Oil & Gas Geology. 2001 22(2): 150-153]
 - 4 Zhang Shuichang Liang Digang Li Maowen *et al* Molecular fossils and oil source rock correlations in Tarim Basin NW China Chinese Science Bulletin. 2002 Vol 47(Suppl): 22-29
 - 5 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 轮南、塔河油田稠油油源对比. 石油与天然气地质, 2004 25(1): 31-38 [Ma Anlai Zhang Shuichang Zhang Dajiang *et al* Oil and source correlation in Lunan and Tahe heavy oil fields Oil & Gas Geology. 2004 25(1): 31-38]
 - 6 Wilhelm A. Larter S R. Origin of tar mats in petroleum reservoirs Part I introduction and studies Marine and Petroleum Geology 1994 11(4): 418-441
 - 7 Wilhelm A. Larter S R. Origin of tar mats in petroleum reservoirs Part II formation mechanisms for tar mats Marine and Petroleum Geology 1994 11(4): 442-456
 - 8 Zhang Jun Pan Xiongqi Liu Luofu *et al* Distribution characteristics and petroleum geological significance of the Silurian asphaltic sandstones in Tarim Basin Science in China (Series D), 2004 34(Suppl 2): 200-209
 - 9 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次与演化. 沉积学报, 2000 18(3): 475-479 [Liu Luofu Zhao Jianzhang Zhang Shuichang *et al* Hydrocarbon filling ages and evolution of the Silurian asphalt sandstones in Tarim Basin Acta Sedimentologica Sinica. 2000 18(3): 475-479]
 - 10 刘洛夫, 赵建章, 张水昌, 等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的成因类型及特征. 石油学报, 2000 21(6): 12-17 [Liu Luofu Zhao Jianzhang Zhang Shuichang *et al* Genetic types and characteristics of the Silurian asphaltic sandstones in Tarim Basin. Acta Petroli Sinica. 2000 21(6): 12-17]
 - 11 刘大猛, 金奎勋, 王凌志. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的特性及其成因. 现代地质, 1999 13(2): 169-175 [Liu Dameng Jin Kuixun Wang Lingzhi Characteristics and genesis of Silurian bituminous sandstone in the Tarim Basin Geoscience. 1999 13(2): 169-175]
 - 12 Peters K. E. Moldovan M. The biomarker guide interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments New Jersey: Prentice Hall Inc. 1993. 79-148
 - 13 马安来, 张水昌, 张大江, 等. 塔里木盆地塔东 2 井稠油地球化学研究. 地质科技情报, 2004 23(4): 59-63 [Ma Anlai Zhang Shuichang Zhang Dajiang *et al* Geochemistry of the heavy oils from well TD2 in Tarim basin NW China Geological Science and Technology Information. 2004 23(4): 59-63]
 - 14 张立平, 黄第藩, 廖志勤. 伽玛蜡烷—水体系分的地球化学标志. 沉积学报, 1999 17(1): 136-140 [Zhang Liping Huang Difan Liao Zhiqin Gamma cerane geochemical indicator of water column stratification Acta Sedimentologica Sinica. 1999 17(1): 136-140]

Geochemical Characteristics and Origin of Reservoir Bitumen from Well Zhong 1 in Katake Uplift Tarim Basin

TANG Youjun^{1,2,3} WANG Tieguan¹ QIAN Yixiong⁴

(1 Key Laboratory for Petroleum Accumulation China University of Petroleum Beijing 100083

2 Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources Ministry of Education Jinzhou Hubei 434023)

3 Department of Geochemistry University of Yangtze Jinzhou Hubei 434023

4 Western Branch Institute Exploration and Production Research Institute SINOPEC Urumqi 830011)

Abstract Oil source of marine crude oils from Tarim Basin is still disputed; However the research on the reservoir bitumen may provide a new evidence to elucidate oil source. Geochemical characteristics of different strata reservoir bitumen from Well Zhong 1 in Katake uplift are discussed here in detail. Pr/Ph ratios of reservoir bitumens from Well Zhong 1 range from 1.14 to 1.39. CPI ratios from 1.01 to 1.08 which indicate no odd even predominance of normal alkanes. OEP ratios from 0.98 to 1.05. The content of gammacerane and C₂₈ sterane of reservoir bitumens from Well Zhong 1 is low, while dibenzothiophene series are abundant. Sterane isomerization maturity parameter and Ts/Tm+Tn ratios indicate that the degree of maturity of reservoir bitumen from Well Zhong 1 is mature to high mature. Based on biomarker distribution difference it is concluded that reservoir bitumen from Well Zhong 1 of which molecular parameters are contrary to those in Cambrian oil from Well Tadong 2 originated from the upper Ordovician source rock.

Key words Katake uplift reservoir bitumen biomarkers assemblage maturity oil source rock correlation