

# 塔里木盆地哈拉哈塘凹陷东西两侧海相稠油 地球化学特征：以 LG7 井和 DH1-6-9 井稠油为例

廖泽文<sup>1\*</sup>, 张绿惠<sup>1</sup>, 杨楚鹏<sup>1</sup>, 张海祖<sup>2</sup>, 王铜山<sup>3</sup>, 卢玉红<sup>2</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000; 3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 塔里木盆地哈拉哈塘凹陷东侧轮古地区有丰富的海相稠油产出, 其中包括大型的塔河油田群, 在凹陷的西北缘也有海相稠油发现。凹陷东侧海相稠油的地球化学成因已经有较多的研究报道, 而西北缘针对海相稠油的研究工作仍然十分薄弱, 其地球化学成因仍需深入探讨。本工作以哈拉哈塘凹陷东西两侧的稠油 LG7 井和 DH1-6-9 井为例, 对比研究其地球化学特征, 重点对比分析稠油沥青质中吸附/包裹烃类化合物的地球化学应用。研究结果表明凹陷东西两侧的稠油藏至少经历了两期油气的充注, 其中第一期充注来自同一套烃源岩, 后期遭受了严重的生物降解改造; 第二期充注来自另一套烃源岩, 其正构烷烃仍然具有完整的分布模式。凹陷两侧稠油经历了相似的后期成藏过程, 在西北缘相应的构造单元中可望发现更多海相来源的油气资源。

**关键词:** 海相稠油; 地球化学; 哈拉哈塘凹陷; 塔里木盆地

中图分类号: P593 文献标识码: A 文章编号: 0379-1726(2010)02-0149-05

## Geochemical characteristics of heavy oils from the east and west sides of Halahatang Depression, Tarim Basin, China: Exemplified by Oils of LG7 and DH1-6-9

LIAO Ze-wen<sup>1\*</sup>, ZHANG Lü-hui<sup>1</sup>, YANG Chu-peng<sup>1</sup>, ZHANG Hai-zu<sup>2</sup>,  
WANG Tong-shan<sup>3</sup> and LU Yu-hong<sup>2</sup>

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China;
3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China

**Abstract:** In the east side of Halahatang Depression, the Lungu area, Tarim Basin, a lot of marine heavy oils, including Tahe oilfields have been found, and some heavy oils from the northwestern side of the Depression were found, too. Many studies have been reported concerning the heavy oils from the east side of Halahatang Depression, while little was known for the heavy oils from the northwestern side of the Depression. This work studied the geochemical characteristics of heavy oils of LG7 (from the east side) and DH1-6-9 (from the west side), e. g. geochemical analyses of the compounds adsorbed/occluded inside asphaltenes of the oils. The results indicate that both oils experienced more than one charges of petroleum fluids. The first charge of the two sites has been derived from the same set of source rocks, which were heavily altered by the post biodegradation occurring in the oil reservoirs, whereas the later charge(s) were derived from different source rocks. The similar geochemical characteristics and accumulation processes indicate that more marine oils are expected to be found from the corresponding tectonic units in the northwestern side of Halahatang Depression.

**Key words:** marine heavy oils; geochemistry; Halahatang Depression; Tarim Basin

收稿日期 (Received): 2009-04-13; 改回日期 (Revised): 2009-08-16; 接受日期 (Accepted): 2009-09-15

基金项目: 国家自然科学基金(40672091); 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB202303)

作者简介: 廖泽文(1969-), 男, 博士, 副研究员, 油气地球化学专业。

\* 通讯作者 (Corresponding author): LIAO Ze-wen, E-mail: liaozw@gig.ac.cn, Tel: +86-20-85290190

LIAO Ze-wen et al.: Geochemical characteristics of heavy oils from Halahatang Depression, Tarim Basin

## 0 引言

哈拉哈塘凹陷位于塔里木盆地北部,在凹陷的东部已探明有较高的石油储量,其中包括塔河油田、哈得逊油田等大型油田,而哈拉哈塘西北缘发现的海相油气藏则十分有限,具有良好的进一步勘探潜力<sup>[1]</sup>。哈拉哈塘凹陷东缘、轮南西部古潜山构造中有大量的稠油产出,前期研究工作认为这些稠油藏至少经历过两期原油的充注过程。第一期原油充注后遭受了严重的生物降解,富集非烃和沥青质组分<sup>[1]</sup>,后期再次注入原油,因此造成了稠油饱和和烃色谱图特征表现为大鼓包上有较为完整的正构烷烃分布。哈拉哈塘凹陷西北缘东河油田也发现了海相稠油的产出,但其地球化学特征还没有报道,因此对比研究凹陷东西两侧海相稠油的地球化学性质以及成藏特征有利于哈拉哈塘凹陷西北缘针对海相油藏进一步的勘探研究工作。

## 1 样品与实验

本工作对比研究哈拉哈塘凹陷东西两侧的 LG7 井 (O, 5165 ~ 5175 m) 和 DH1-6-9 井 (D, 5964 ~ 5971 m) 两个稠油样品,其中 LG7 井位于凹陷东侧轮西低凸起上,油样产自奥陶系层位碳酸盐岩古潜山中,上覆泥灰岩为盖层;DH1-6-9 井位于凹陷西北缘英买力低凸起附近,油样来自泥盆系层位砂岩中,上覆泥岩为盖层<sup>[1]</sup>,样品具体的分布位置参见图 1。两个油样采出后基本失去流动性,沥青质含量在 10% 以上。本研究除常规的一些原油分析外,主要针对其中的沥青质组分,特别是针对释放出来的

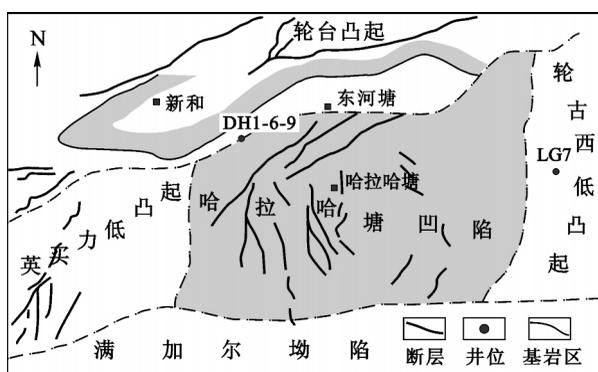


图 1 哈拉哈塘凹陷及样品井位分布

Fig. 1 Halahatang Depression and the locations of crude oils used in this work

沥青质结构中吸附、包裹的组分加以深入探讨,结合相关的基础地质背景资料对比分析哈拉哈塘凹陷西北缘海相油气藏的成藏特征。

在实验室里对稠油样品进行族组成分离,用正己烷沉淀分离沥青质组分,得到的原油沥青质组分用硅胶/氧化铝柱分离得到饱和烃组分(用正己烷洗脱得到)。用丙酮连续抽提从正己烷沉淀得到的沥青质 240 h,从中得到吸附烃组分,针对丙酮抽提后的残余沥青质用轻度氧化降解方法释放出其中的包裹烃组分,实验中用  $H_2O_2/CH_3COOH$  体系对沥青质连续进行 48 h 的降解,具体方法可参照我们以前的工作报道<sup>[2]</sup>。得到的各个组分利用硅胶/氧化铝柱分离进一步得到相应的洗脱物,分别利用正己烷、甲苯和乙醇洗脱得到饱和烃、芳烃和非烃组分,其中饱和烃进一步用于 GC-MS 分析。本工作还将原油饱和烃中进一步利用尿素络合的方法分离得到正构烷烃和不可分辨的化合物 (UCM, Unidentified Complex Material) 两个组分,也就是相当于图 2 中原油饱和和烃色谱图中的正构烷烃和鼓包中的 UCM 两个部分,并进一步用于稳定碳同位素组成分析。

GC-MS 分析用 HP6890 气相色谱与 Micromass Platform II 质谱联用仪完成,其中色谱柱为 DB-1MS 柱 (60 m × 0.32 mm × 0.25 μm),起始温度 80 °C,以 4 °C/min 的速率升温至 295 °C 并恒温 20 min,载气为氦气 (1.2 mL/min),质谱离子源温度 200 °C,电子轰击模式 (70 eV),质谱检测质量范围 50 ~ 500 原子质量单位。

组分稳定碳同位素组成在同位素比值质谱仪上完成,仪器型号 Finnigan Delta plus XL,每个样品至少平行做两次分析,两次测定值相差在 0.2‰ 以内,文章中报道的数值为两次测定数据的平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同组分中正己烷洗脱物的分布特征对比

图 2 对比了 LG7 井和 DH1-6-9 井两个稠油样品中相应组分色谱全貌特征,由图中可以发现直接来自原油中饱和烃色谱在鼓包之上有较为完整的正构烷烃分布,链烃分布可以达到  $C_{30}$  以上,这表明两个稠油藏都应当经历了至少两期的原油注入过程。第一期原油充注后遭受了严重的改造,后期原油的注入使得正构烷烃仍然具有完整的分布模式。

两个样品的沥青质吸附烃和包裹烃表现出相似

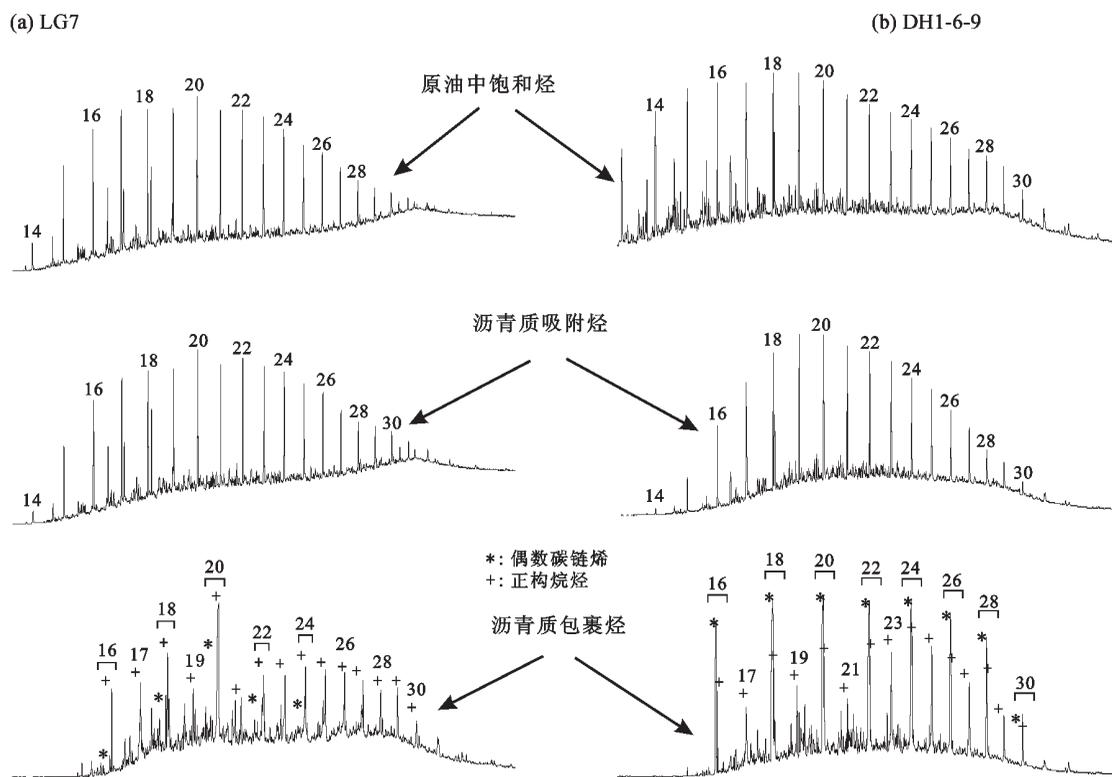


图 2 LG7 和 DH1-6-9 样品中相关组分的色谱图(TIC)分布特征对比

Fig. 2 Chromatograms of different fractions from LG7 and DH1-6-9 samples (the numbers represented the carbon number of alkanes/alkenes) 其中数字代表正构烷烃/烯烃分子中碳原子数目。

的主要分布特征 (图 2), 包裹烃组分里均释放出一系列的偶数碳正构烯烃(双键位置在链端,其地球化学来源在后面讨论)化合物,同时正构烷烃具有明显的偶数碳优势,这属于早期生烃阶段包裹于沥青质大分子结构中的化合物,代表成熟度较低阶段来自母质干酪根的烃类化合物,在油藏后期演化过程中由于得到了沥青质大分子(聚集体)结构的有效保护作用而较少受到影响<sup>[2-3]</sup>。包裹组分的初步对比实验结果表明两个油样沥青质组分之间应当具有一定的亲缘关系。

## 2.2 不同组分稳定碳同位素组成结果

表 1 列出了两个稠油样品中不同组分的稳定碳同位素组成分析结果,由表中可以看出两个稠油样品全油、沥青质、沥青质结构中吸附饱和烃组分以及沥青质包裹饱和烃组分的稳定碳同位素组成非常接近。

表 1 结果表明两个稠油样品中 UCM 组分的同位素组成相近,结合上面相应其他组分同位素组成的结果,可比较合理地推测两个稠油藏第一期油气充注应该来自同一套烃源岩,因而留下了相似的沥青质地球化学特征。其中 UCM 化合物主要来自第一

期油气充注的贡献,而正构烷烃基本上代表了后期充注的贡献。第一期充注可能来自凹陷南部的满加尔坳陷的寒武系-下奥陶统烃源岩,后面将要讨论到的生物标志化合物分布特征也符合其来自寒武系-下奥陶统烃源岩的认识。但最近有研究报道,在哈拉哈塘凹陷下伏的下奥陶统地层也可能是有效的烃源岩<sup>[4]</sup>,哈 6 井下奥陶统鹰山组有 130 m 厚的灰岩可划为有效烃源岩,因此该期稠油的充注也可能来自哈拉哈塘凹陷下伏的下奥陶统地层。

## 2.3 不同组分中甾萜类化合物的分布特征

图 3 进一步对比显示了两个稠油样品中相应组

表 1 不同组分稳定碳同位素组成结果( $\delta^{13}C$  ‰)

Table 1 Stable carbon isotopic composition results of different fractions

组分	LG7	DH1-6-9
全油	-32.9	-33.0
沥青质	-33.5	-33.6
原油饱和烃中正构烷烃	-34.2	-33.6
原油饱和烃中 UCM 化合物	-32.9	-33.0
沥青质吸附饱和烃组分	-33.1	-32.8
沥青质包裹饱和烃组分	-30.3	-30.0

注: UCM 化合物指饱和烃组分中色谱不可分辨的系列化合物。

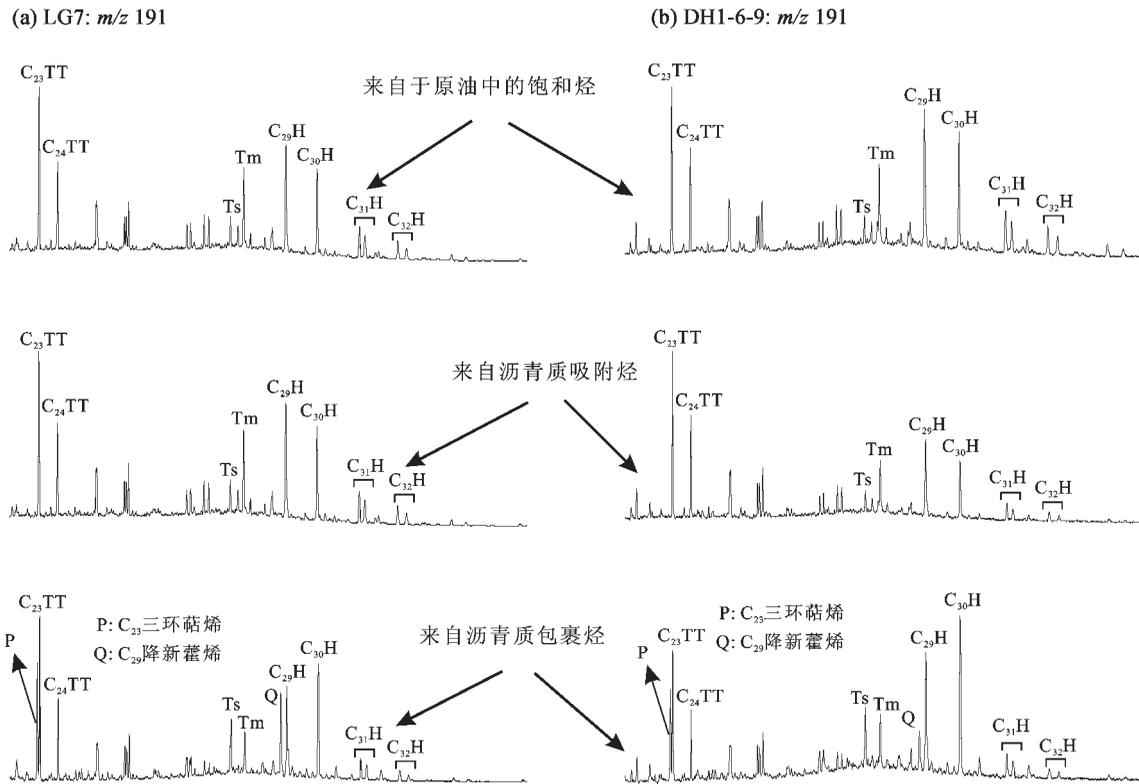


图3 LG7和DH1-6-9样品相应组分中萜类化合物分布特征对比

Fig. 3 Distributions of terpane compounds of different fractions from LG7 and DH1-6-9

分中萜类化合物的分布特征,由图中可以看出原油饱和烃中和沥青质吸附烃中两个样品中的萜类化合物具有很大的相似性。

同时,在沥青质包裹烃中检测出不饱和的三环萜烯和 $C_{29}$ 降新藿烯(图3),这类不饱和的环状化合物代表成熟度较低阶段生成的产物,包裹于沥青质结构中而被保存下来。在两个稠油样品的沥青质包裹组分中同时检测出该类不饱和环状化合物也表明两者具有明显的亲缘关系,至少沥青质来自相同的母源,因而第一期原油充注应该来自同一套烃源岩。

图4是不同组分中萜类化合物的分布特征,两个样品中相应组分的萜类化合物基本上具有相似分布,体现出两者之间的相关性。其中在沥青质包裹烃中, $C_{28}$ 甾烷具有相对更高的含量,这也表明沥青质组分主要来自寒武系-下奥陶统烃源岩的贡献。

#### 2.4 沥青质包裹组分中系列链烯与正构羧酸乙酯类化合物的检出及其地球化学意义

在两个稠油样品的沥青质包裹组分中均检测到了一系列具有生物来源意义的偶数碳正构羧酸乙酯类化合物,其中羧酸的碳数主要集中在14~28之间;而图2表明在包裹的烃类组分中检测出了一系

列的偶数碳的链烯(双键在链端)。

偶数碳的正构羧酸酯类化合物在有机质成岩作用阶段普遍存在,这些化合物在成岩作用初期可以结合进入干酪根大分子结构中,后期在较低的热力作用下就可以发生分解,分解作用通过协同的环状过渡态机制断键生成相应的羧酸和双键在链端的含一个不饱和双键的链烯<sup>[5-6]</sup>。以上实验结果在沥青质包裹组分中同时检测到系列的偶数碳正构羧酸酯类和偶数碳的链烯化合物,这符合酯类化合物通过协同热解反应生成链烯的机制,这类化合物在成熟度较低状况下生成并包裹在干酪根、后期紧密包裹在沥青质等大分子结构中,由于后期得到了沥青质大分子结构的有效保护作用而被保存下来。这类化合物可能来自藻类的脂质体部分,在两个稠油样品沥青质包裹组分中同时检测出该类系列化合物也表明它们应该来自同一套烃源岩。

### 3 结论

塔里木盆地哈拉哈塘凹陷东西两侧的稠油藏至少经历了两期油气的充注, LG7井稠油与DH1-6-9井稠油的对比研究表明两者经历了相似的成藏过

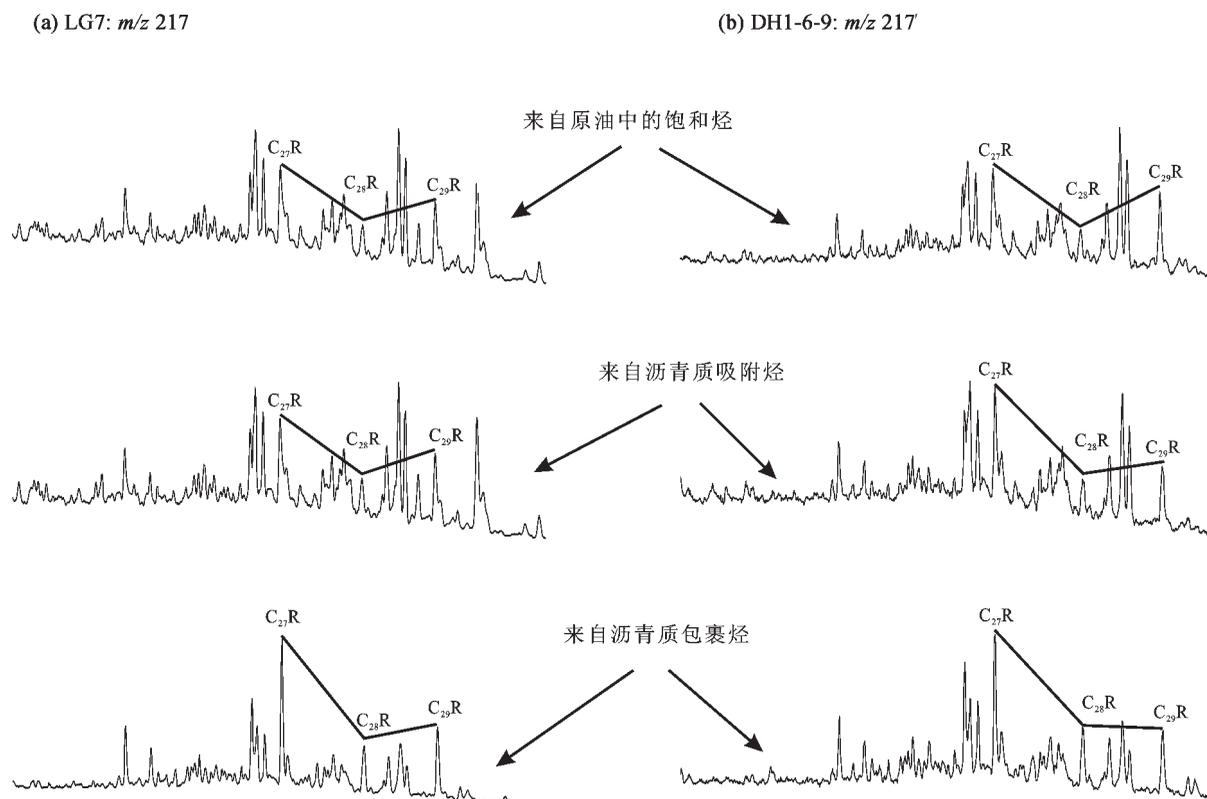


图 4 LG7 和 DH1-6-9 样品相应组分中甾类化合物分布特征对比

Fig. 4 Distributions of sterane compounds of different fractions from LG7 and DH1-6-9

程。特别是第一期原油充注来自同一套烃源岩、因而留下了相同的沥青质地球化学信息,推测烃源岩来自南部的满加尔坳陷或哈拉哈塘凹陷下伏地层,具体层位为寒武系-下奥陶统烃源岩。两个稠油藏可能也经历了相似的后期充注过程,在哈拉哈塘凹陷西北缘相应的构造单元中可望发现更多海相来源的油气资源。

中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院提供了稠油样品;中国科学院广州地球化学研究所硕士研究生罗茂帮助完成了部分图件的清绘工作,在此一并表示感谢。

#### 参考文献 (References):

- [1] 卢玉红, 肖中尧, 顾乔元, 张秋茶. 塔里木盆地环哈拉哈塘海相油气地球化学特征与成藏 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007, 37(增刊 II): 167-176.  
Lu Yu-hong, Xiao Zhong-yao, Gu Qiao-yuan, Zhang Qiu-cha. Geochemical characteristics and accumulation of marine oil and gas around Halahatang depression, Tarim Basin, China [J]. Sci China (D), 2008, 51(suppl 1): 195-206.

- [2] Liao Zewen, Geng Ansong, Gracia A, Creux P, Chrostowska A, Zhang Yaxue. Saturated hydrocarbons occluded inside asphaltene structures and their geochemical significance, as exemplified by two Venezuelan oils [J]. *Org Geochem*, 2006, 37(3): 291-303.  
[3] Liao Zewen, Zhou Honggang, Gracia A, Chrostowska A, Creux P, Geng Ansong. Adsorption/occlusion characteristics of asphaltenes: Some implication for asphaltene structural features [J]. *Energ Fuel*, 2005, 19(1): 180-186.  
[4] 张朝军, 周新源, 王招明, 王长勋, 罗秀羽, 刘云祥, 龙维华. 哈拉哈塘地区下奥陶统烃源岩发现的地质意义 [J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(5): 588-590.  
Zhang Chao-jun, Zhou Xin-yuan, Wang Zhao-ming, Wang Chang-xun, Luo Xiu-yu, Liu Yun-xiang, Long Wei-hua. The geological significance for discovery of Lower Ordovician source rocks in Halahatang area, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Pet Geol*, 2008, 29(5): 588-590 (in Chinese with English abstract).  
[5] Alexander R, Kralert P G, Kagi R I. Kinetics and mechanism of the thermal decomposition of esters in sediments [J]. *Org Geochem*, 1992, 19(1-3): 133-140.  
[6] Alexander R, Kralert P G, Sosrowidjojo I B, Kagi R I. Kinetics and mechanism of the thermal elimination of alkenes from secondary stanyl and triterpenyl esters: Implications for sedimentary processes [J]. *Org Geochem*, 1997, 26(5-6): 391-398.