

# 东海平湖油气田某油藏几个地质问题探讨

郑 冰<sup>1,2</sup>, 高仁祥<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610068; 2. 中国石化石油勘探开发研究院  
无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

**摘要:** 东海平湖油气田某油藏有 3 类原油, 各类原油有显著的特征参数, 经过筛选, 芳烃的  $\delta^{13}\text{C}$  可作为原油的标记指纹。在油藏内原油自西南向东北运移, 并且也可从下部  $\text{H}_6$  储层向上运移至  $\text{H}_2$  储层中, 运移主要受构造隆起控制。油藏的连通性良好, 成藏后虽有脱沥青作用影响, 但不是很强, 对储层的损伤影响较小, 仍保持较好的连通性。

**关键词:** 碳同位素; 指纹标记; 运移; 东海

**中图分类号:** TE122. 1

**文献标识码:** A

平湖油气田位于东海陆架盆地中次一级凹陷的斜坡中部, 西边有一个主断裂, 东邻另外一个次级凹陷。

该油气田某油藏为一短轴背斜, 两端倾覆, 由  $\text{H}_7$  层段至  $\text{H}_2$  层段组成。油藏属构造块状底水油型藏。

区内有 2 条断裂, 属正断层。走向近 NE—SW, 倾向 W, 倾角  $70^\circ$  左右, 形成于  $\text{H}_6$  层段之前,  $\text{H}_6$  层段以后已不见该断层踪迹。它起到一定的通道作用。

## 1 东海陆架盆地地层简况

东海陆架盆地是我国重要含油气盆地之一, 许多学者对其进行过研究<sup>[1-8]</sup>, 该盆地基底之上, 覆盖古新统至第四系, 其中古新统的石门潭组、灵峰组、明月峰组为生油源岩, 始新统平湖组和瓯江组亦为生油岩, 油藏主要分布在花港组(图 1)。

平湖组为海相沉积环境, 具有 3 段性。下段基本属于浅海到潮下带沉积, 以泥岩为主夹少量煤层, 为海相沉积; 中段属浅海到潮间带沉积, 为一套煤层发育的砂泥岩互层; 上段为扇三角形沉积夹煤层及滑塌泥岩, 中上段为海陆交互相至陆相。

花港组储层为浅海水下辫状河道沉积, 既有多期稳定的湖相泥岩沉积又有多期块状连片的辫状河道砂岩沉积, 砂层厚度大, 分布广泛, 连通性好, 从下至上可分为 6 个大砂体, 即  $\text{H}_7$ ,  $\text{H}_6^3$ ,  $\text{H}_6^2$ ,  $\text{H}_6^1$ ,  $\text{H}_5^3$ ,  $\text{H}_5^2$

等层段(图 2), 为分布广泛较为稳定的厚沙层, 砂体在构造高部位增厚, 向四周减薄, 这种加厚是在构造挤压作用形成的次生加厚。这些砂层是良好的储油层。它们连通性好, 油层连通率高达 100%。埋藏深度在 2 200~ 2 770 m。

## 2 某油藏地质特征分析

### 2.1 原油碳同位素特征

油藏中原油没有测定碳同位素数据, 只能根据每一原油族组分的碳同位素数据, 再根据各族组分含量和它们的碳同位素值进行加权推算(表 1)。就现有资料分析发现,  $\text{H}_7$  层段中的原油(㉔类原油)推算的  $\delta^{13}\text{C}$  值约为  $-24\text{‰}$ , 而其它原油(包括 iv, ㉕类原油)的  $\delta^{13}\text{C}$  值在  $-26.77\text{‰}$ ~  $-27.41\text{‰}$ 。iv, ㉕类原油为海陆交互相至陆相原油, 其生油母岩应该是来自平湖组中段的浅海到潮间带沉积的一套煤层发育的砂泥岩互层和上段的扇三角形沉积夹煤层及滑塌泥岩的海陆交互相至陆相沉积地层。而 ㉔类原油则来自平湖组下段以浅海到潮下带沉积以泥岩为主夹少量煤层的近海相生油岩, 或更下面的海相生油层。

### 2.2 原油分类和对比

以饱和烃、芳烃、非烃、沥青质、干酪根等各族组分对其相应的  $\delta^{13}\text{C}$  作图, 可获得类似于直线的同位

地 层		主要岩性	生油层	油气显示 油 藏 气 藏	☆ ★ ●	构造运动	陆 ← 海
第四系	东海群						
上新统	三潭组					冲绳运动	
中新统	柳浪组					龙井运动	
	玉泉组						
	龙井组			☆			
渐新统	花港组			★ ★ ★ ● ● ★	玉泉运动		
始新统	平湖组		▲	★			
	瓯江组 (温州组)		▲	★		瓯江运动	
古新统	明月峰组		▲	☆		雁荡运动	
	灵峰组		▲	☆			
	石门潭组		▲	☆			
	基底	K-j Pt 		☆		基隆运动	

图 1 东海陆架盆地地层简况

Fig. 1 Simplified stratigraphic column of East China Sea Basin

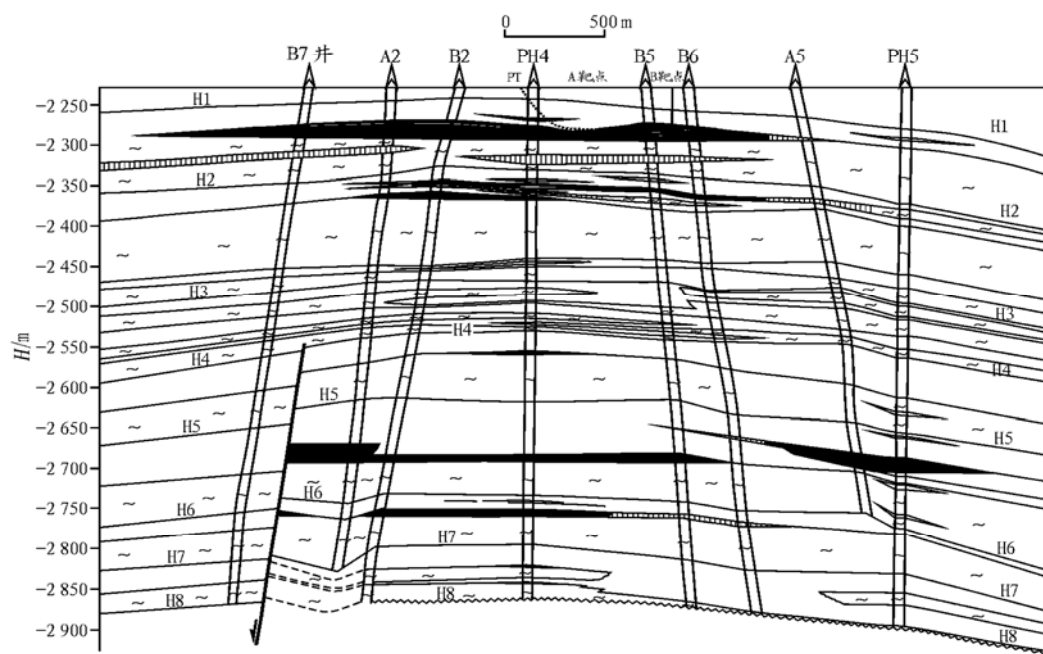


图 2 平湖油气田 B2 井—PH5 井油藏剖面图

Fig. 2 A cross section of reservoirs from wells B2 to PH5 in Pinghu oilfield

表1 油藏各含油层原油族组分及碳同位素

Table 1 Group composition and carbon isotope of oil in different reservoirs

编号	层段	$\delta^{13}C$ , ‰(PDB)					含量, %				
		饱和烃	原油	芳烃	非烃	沥青质	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	总量
A1	H <sub>6</sub> <sup>3</sup>	-27.51	-27.41	-25.65	-27.73	-28.48	81.04	4.36	0.31	0.14	85.85
A3	H <sub>3</sub> <sup>2</sup>	-27.14	-27.07	-25.57	-27.97	-27.26	85.21	3.80	0.17	0.09	89.27
A4	H <sub>3</sub> <sup>2</sup>	-27.10	-26.77	-26.17	-28.25	-28.26	84.51	2.89	0.15	0.08	88.63
A4混	H <sub>7</sub>	-24.65	-24.66	-25.15	-27.87	-25.13	76.55	1.66	0.07	0.14	78.42
AA5	H <sub>6</sub> <sup>1</sup> , H <sub>6</sub> <sup>2</sup>	-27.20	-26.24	-25.71	-27.78	-27.44	85.86	3.52	0.09	0.07	89.54
A8	H <sub>2</sub> <sup>1</sup>	-27.44	-27.39	-25.69	-27.79	-27.33	89.95	1.85	0.13	0.02	91.95

素类型曲线。

由于所送油样中有部分原油样为混合原油样, 这给分类对比带来了困难, 对于混合油样为2组分或3组分者, 我们假定它们是等体积混合, 然后来算出单个原油样的各族组分的 $\delta^{13}C$ 值(表1), 根据表1资料绘制原油同位素类型曲线(图3), 可以得到3种类型的曲线: iv类原油(H<sub>2</sub><sup>1</sup>, H<sub>3</sub><sup>2</sup>, H<sub>6</sub><sup>1</sup>, H<sub>6</sub><sup>2</sup>, H<sub>6</sub><sup>3</sup>等层段); ㊟类原油(H<sub>3</sub><sup>2</sup>等层段); ㊟类原油(H<sub>7</sub>等层段)。

iv类原油中饱和烃、芳烃、非烃的碳同位素组分非常一致。尤其是芳烃碳同位素(可作为原油指纹标记)分别为-25.65‰ - 25.57‰ - 25.71‰ - 25.69‰, 其值基本没什么变化, 这无疑说明同属同一原油。饱和烃OEP > 1或 < 1是一个极其明显的特征差异。iv类原油OEP < 1, 为0.997~ 0.968, Pr/Ph为7.086~ 6.613, ner-Pr为1.104~ 1.515。但 $\delta^{13}C$ 变化较大, 其原因和应用将在下面讨论。

㊟类原油在H<sub>3</sub><sup>2</sup>层段中, 芳烃 $\delta^{13}C$ 为-26.17‰, OEP > 1, 为1.028, 非烃 $\delta^{13}C$ 为-28.25‰, Pr/Ph为8.745, ner-Pr为0.708。㊟类原油在H<sub>7</sub>层段中, 芳烃 $\delta^{13}C$ 为-25.16‰。因其是混合油样没有单独的原油饱和烃色谱图, 所以其他特征参数不全。但是,

其同位素类型曲线形态与其它两类原油不同。对这种同位素类型的原油需要说明的是: 1) H<sub>7</sub>层段中㊟类原油的芳烃 $\delta^{13}C$ 是根据扣除H<sub>3</sub><sup>2</sup>层段和H<sub>6</sub><sup>3</sup>层段原油芳烃 $\delta^{13}C$ 后推算得到的, 且假设是等体积混合为前提, 这样所得到的数据可能有一定误差, 假如芳烃 $\delta^{13}C$ 为-25.16‰, 如有0.5‰的误差, 则其可能是与iv类原油为同一原油, 但Pr/Ph为8.752与iv类原油又有显著差异, 因此上述可能性较小; 2) 饱和烃 $\delta^{13}C$  (-24.65‰) > 芳烃 $\delta^{13}C$  (-25.16‰) > 非烃 $\delta^{13}C$  (-27.87‰) 则可能是iv类原油生物降解的结果。因为原油在生物降解过程中细菌选择性的吃 $\delta^{13}C$ 较轻的饱和烃, 形成 $\delta^{13}C$ 较轻的沥青质。降解达到一定程度, 就变成饱和烃 $\delta^{13}C$  > 芳烃 $\delta^{13}C$  > 非烃 $\delta^{13}C$  > 沥青质 $\delta^{13}C$ , 芳烃 $\delta^{13}C$ 保持不变, 这一点极为重要。但是它的沥青质含量为0.14, 没有明显增加, 沥青质 $\delta^{13}C$ 也没有明显变负, 所以可能不是iv类原油降解而是另一类原油。其OEP值也有明显的特点, 且与其它两类原油不同, 成因类型属于海相原油。

上述原油分类对比的正确性还可从原油的其他特征参数, 如原油饱和烃色谱和饱和烃色谱质谱的分析数据进一步得到证实(表2)。iC<sub>15</sub>和iC<sub>16</sub>在iv类和㊟类原油有明显差异(表3, 图4), 且同一类原油基本相同, iv类原油iC<sub>15</sub>在1.168~ 1.624之间, iC<sub>16</sub>在2.186~ 2.869之间。而㊟类原油iC<sub>15</sub>仅为0.832, iC<sub>16</sub>为1.503。三环双萜烷亦存在相同规律, iv类原油在21.054 5~ 23.525 6, ㊟类原油则为17.741 7。

平湖油气田某油藏原油的同位素类型曲线都较陡, 表明该油藏原油演化程度已相当高。

### 2.3 原油芳烃碳同位素指纹标记

随着原油成熟度的增加, 石油的相似性增加。特别是饱和烃中正构烷烃和异构烷烃分布逐渐趋于一致。甾类和萜类化合物含量很低, 因此沿用这些常用参数, 对本区高成熟原油进行对比遇到了一定困难。在这种情况下, 芳香族化合物, 芳香甾烷和含

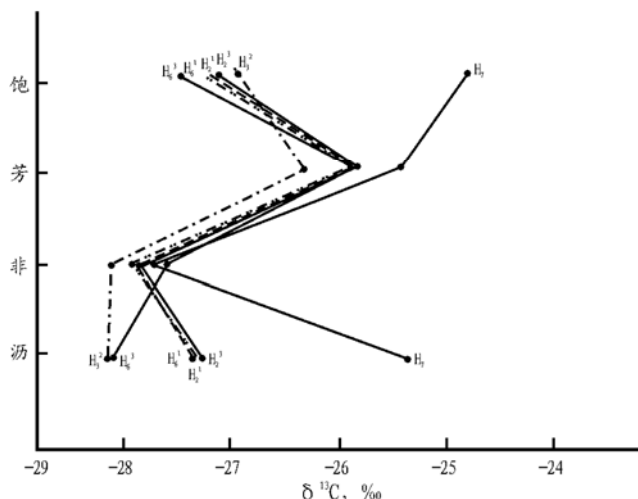


图3 平湖油气田某油藏原油同位素类型曲线

Fig. 3 Curve showing carbon isotope types of oil in Pinghu oilfield

表 2 各类原油特征参数及其对比

Table 2 Some parameters of crude oil in different reservoirs

原油类型	井位	层段	原油指纹 芳烃 $\delta^{13}C$ , ‰	OEP	Pr/Ph	ner-Pr
iv类	A1	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	- 25. 65	0. 997	7. 086	1. 104
iv类	A3	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	- 25. 57	0. 982	7. 363	1. 515
iv类	AA5	H <sub>6</sub> <sup>1</sup> , H <sub>6</sub> <sup>2</sup>	- 25. 71	0. 968	6. 613	1. 134
㊟类	A4	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	- 26. 17	1. 028	8. 745	0. 708

表 3 不同种类原油  $iC_{15}$ ,  $iC_{16}$ , 三环双萜烷值

Table 3 The values of  $iC_{15}$ ,  $iC_{16}$  and tricyclic diterpane in different oil

井号	层位号	$iC_{15}$	$iC_{16}$	三环双萜烷
A1	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	1. 168	2. 186	23. 525 6
A	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	1. 624	2. 869	21. 054 5
AA5	H <sub>6</sub> <sup>1</sup> , H <sub>6</sub> <sup>2</sup>	1. 244	2. 356	23. 343 1
A3	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	0. 832	1. 503	17. 741 7

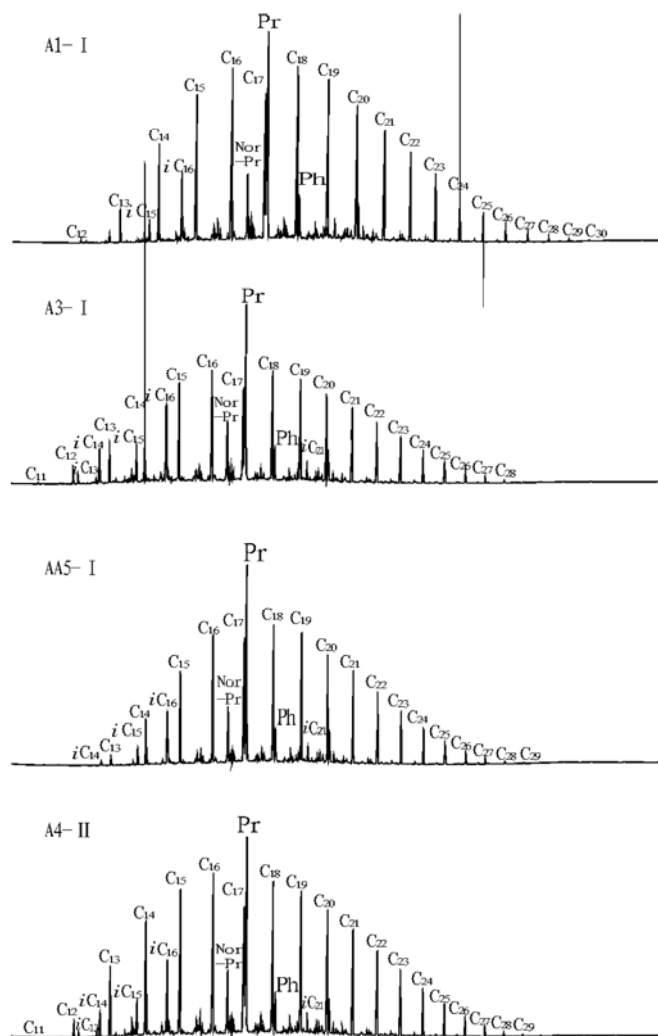


图 4 各类原油饱和烃气相色谱图

Fig. 4 GC diagram of saturated hydrocarbon of oil

从原油同位素类型曲线中可以看到, 芳烃的碳同位素组成较为稳定, 不太容易变化, 它不受生物降解或热演化及氧化的影响。如前所述, 生物降解过程中细菌选择性的吃  $\delta^{13}C$  较轻的饱和烃, 形成  $\delta^{13}C$  较轻的沥青质, 降解达到一定程度, 就变成饱和烃  $\delta^{13}C >$  芳烃  $\delta^{13}C >$  非烃  $\delta^{13}C >$  沥青质  $\delta^{13}C$ , 其它各族组分的碳同位素组成由于受各种因素影响而容易发生变化, 但芳烃  $\delta^{13}C$  保持不变, 这一点极为重要。因此芳烃碳同位素可作为指纹标记来研究鉴别原油。

### 2.4 油藏的连通性

上述花港组为浅湖相水下辫状河道沉积, 既有多期稳定的湖相泥岩沉积又有多期块状连片的辫状河道砂岩沉积。砂岩厚度大, 分布广泛, 连通性好, 连通率可达 100%, 为中孔中渗透储层, 孔隙类型以粒间孔为主, 胶结类型以接触式为主。iv类原油在油藏中有广泛分布, 油藏的连通性极好, 纵向上可在 H<sub>2</sub><sup>1</sup>, H<sub>2</sub><sup>3</sup>, H<sub>6</sub><sup>1</sup>, H<sub>6</sub><sup>2</sup>, H<sub>6</sub><sup>3</sup> 等各层段出现; 横向上广泛分布, 从西南部的 A1 井到东北部的 A8 井一直到 A5 井的构造高部位均可出现。

此外, 研究发现该区原油曾发生一定程度的脱沥青作用, 对储层孔隙造成少量的堵塞。从总体上看, 对储层的连通性没有造成太大影响, 依然保持良好的连通性。

### 2.5 原油运移方向

原油运移是研究油藏形成的重要内容, iv类原油无论纵向上(H<sub>2</sub><sup>1</sup>, H<sub>2</sub><sup>3</sup>, H<sub>6</sub><sup>1</sup>, H<sub>6</sub><sup>2</sup>, H<sub>6</sub><sup>3</sup> 等层段)还是在横向上 A1 井—A8 井—A5 井广阔的范围(构造高点)均有广泛的分布, 这为我们研究它的运移成为可能。从 A1 井 H<sub>2</sub><sup>3</sup> 层段到 A8 井的 H<sub>2</sub><sup>1</sup> 层段水平运移 400 m, 再垂直向上运移 400~ 450 m, 沥青  $\delta^{13}C$  由 - 28. 48 ‰ 变化为 - 27. 33 ‰。这是原油在运移过程中  $\delta^{13}C$  轻的沥青质优先被吸附, 造成所谓的吸附分馏, 使原油中沥青  $\delta^{13}C$  变重; 而从 A1 井到 A5 井约有 1 600 多米水平运移, 其沥青  $\delta^{13}C$  亦变为 - 27. 44 ‰。这种从 SW—NE 运移方向, 与从 H<sub>6</sub><sup>1</sup>—H<sub>6</sub><sup>3</sup>—H<sub>3</sub><sup>1</sup>—H<sub>2</sub><sup>1</sup> 等层段, 构造隆起从 SW—NE 迁移扩展是完全相吻合的(图 5)。这充分反映出运移与油藏的构造控制是密切相关的, 这一点在研究油藏时是极其重要的。构造隆起的压力系统是原油运移的原动力。

## 3 结语

平湖油气田某油藏原油的分类对比, 可分为 3

硫芳香族化合物用于石油分类对比就变得更为有效。另外, 生物降解的石油利用上述化合物进行对比仍具有一定的有效性。

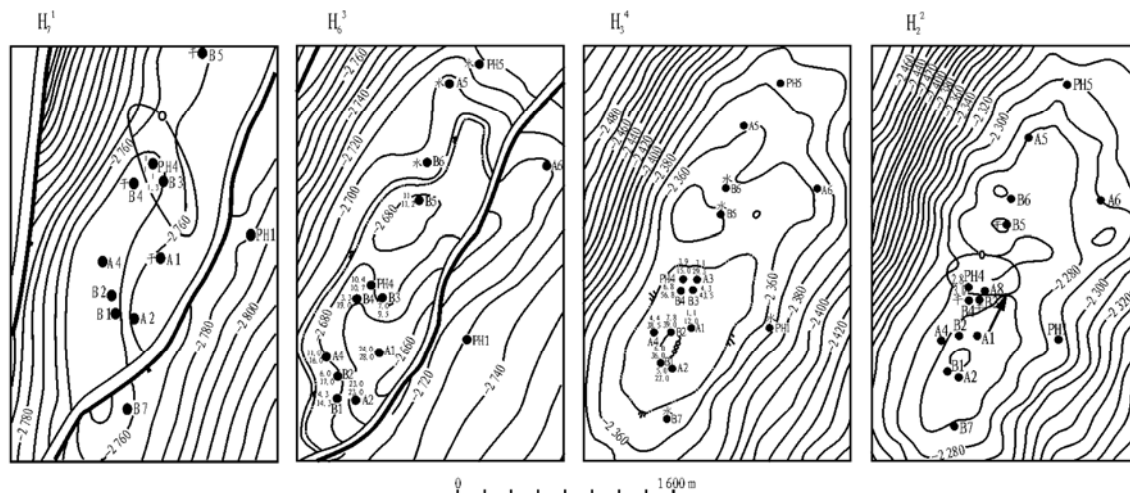


图 5 平湖油气田某油藏 H<sub>1</sub><sup>1</sup>, H<sub>2</sub><sup>2</sup>, H<sub>3</sub><sup>3</sup>, H<sub>4</sub><sup>4</sup> 层段砂体顶面埋深图

Fig. 5 Contour diagram showing buried depth of the top of reservoirs in Pinghu oilfield

类原油: iv, ⊕类为海陆交互相至陆相原油, ⊙类为海相原油; 原油芳烃碳同位素组成可作为指纹标记, 在区分不同种类的原油得到较为明确的结论; 平湖油气田某油藏在生油成藏时和成藏后连通性较好。两条正断层提供了原油运移通道, 但原油运移主要还是受构造隆起控制, 由南西向北东方向运移。

参考文献:

1 胡必规. 东海陆架盆地沉积历史与油气[J]. 石油实验地质, 1990, 12(3): 291~ 296  
 2 杨兆宇. 东海海域区域构造轮廓[J]. 石油实验地质, 1992, 14(1): 7~ 19

3 叶 军, 郭迪孝. 东海西湖凹陷天然气地化特征[J]. 石油实验地质, 1996, 18(2): 174~ 181  
 4 李维显. 东海陆架多旋回复合盆地的油气远景[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 141~ 145  
 5 李上卿. 东海西湖凹陷油气资源分布及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 721~ 728  
 6 江兴歌. 东海西湖凹陷平湖组油气运移特征模拟分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增): 614~ 620  
 7 李海华. 东海西湖凹陷第三系剩余孔隙流体压力分析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 35~ 39  
 8 孙肇才. 从东海石油地质工作的重要进展看太平洋大陆边缘新生代盆地的构造演化[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 121~ 137

## DISCUSSION ON SOME GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RESERVOIRS IN PINGHU OILFIELD OF THE EAST CHINA SEA BASIN

ZHENG Bing, GAO Ren-xiang

(Wuxi Research Institute of Experimental Petroleum Geology, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** There are three different types of crude oil in reservoirs of Pinghu oilfield. The oil can be discriminated by obvious geochemical parameters with carbon isotope of aromatic hydrocarbon as the fingerprint marker. The oil was migrated from southwest to northeast and from reservoir H6 in the lower part to reservoir H2 in the top. And hydrocarbon migration was controlled by structural uplift. The reservoirs were well connected, although the light deasphalted action of oil blocked some pores of reservoirs.

**Key words:** carbon isotope; fingerprint marker; migration; the East China Sea