

原油 C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub> 轻馏分族组成的环境指相意义探索<sup>\*</sup>王培荣<sup>1,3,\*</sup> 徐冠军<sup>1,2</sup> 肖廷荣<sup>2</sup> 张大江<sup>1,2</sup> 张 斌<sup>1,2</sup>

1. 中国石油天然气总公司油气地球化学重点实验室, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心, 北京 100083; 3. 长江大学有机地球化学系, 荆州 434023

**摘要** 选用 12 个油区的 194 个油样, 按其地质背景资料和伽玛蜡烷比值[G am/C<sub>31</sub>H(S+R)], 将油样的烃源岩沉积水体盐度分为淡-微咸(包括湖沼)、半咸-咸(包括塔里木盆地海相油样)、盐湖相。采用具 PTV、“反吹”、“微流控”和 FID 的 Agilent 5975MSD 分析装置, 对原油 C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub> 馏分进行了精细的气相色谱分离, 约 286 个色谱峰化合物作了族组成的定性研究, 并对原油 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 馏分各个碳数化合物的族组成和族组成比值的地质应用进行了有益的探索, 提出: (1) 原油的 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 轻馏分族组成和族组成的比值, 有可能作为油-油对比研究的一种新参数, 由于 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 馏分是原油重要的组成部分, 尤其是对轻质油、凝析油来说, 几乎占全油质量的 90% 以上, 因此, 这个新对比参数应具有较高的可信度; (2) 总结了不同沉积水体盐度的 C<sub>7</sub> 轻烃族组成特征; (3) 原油成熟度等因素会影响原油 C<sub>6</sub>—C<sub>13</sub> 轻馏分族组成和族组成的比值, 但它似乎主要受烃源岩沉积水体盐度的控制。

**关键词** 轻烃 轻馏分分析 族组成 沉积水体盐度

原油中轻馏分(C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub>)是非常重要的组成部分, 对于轻质油、凝析油来说, C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub> 馏分几乎占据全油质量的 90% 以上, 而有着无可置疑的代表性, 其所包含的地质信息不容忽视。Hunt 报道了有关汽油范围的正构烷烃的母源<sup>[1]</sup>; 迄今常用的 C<sub>7</sub> 两个轻烃参数正庚烷值和异庚烷值, 由 Thompson 提出, 用于研究原油成熟度和母源类型<sup>[2,3]</sup>, 后来他又引入了“蒸发分馏”概念, 并提出甲苯/正庚烷作为研究“蒸发分馏油”的参数<sup>[4,5]</sup>; Mango 提出了“稳态催化反应”的轻烃成因假说和 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> 等一系列参数<sup>[6]</sup>, 他对原油中轻烃、天然气的成因、轻烃的组成、分布和应用作了系统的综述<sup>[7]</sup>; Bement 等报道用 C<sub>7</sub> 轻烃研究原油成熟度的参数<sup>[8]</sup>; Halpern 提出用 8 个轻烃参数组成的星状图来区分原油遭受的各种次生蚀变作用<sup>[9]</sup>; Ten Haven 报道了 Mango 参数的应用和局限性<sup>[10]</sup>; Odden

等分别用烃源岩的 C<sub>4</sub>—C<sub>13</sub> 热解吸和热裂解数据与油进行了油-岩对比研究<sup>[11,12]</sup>; Whiticar 等用轻烃稳定碳同位素数据研究了西加拿大原油的地质特征<sup>[13]</sup>; George 等报道了轻至中等生物降解对原油中 C<sub>5</sub> 至 C<sub>9</sub> 烃类的影响<sup>[14]</sup>; Obermajer 等用轻烃和生物标志化合物研究了美国蒙大拿州中部的原油<sup>[15]</sup>; 胡惕麟等用源岩吸附烃和天然气轻烃进行气/气和气/岩对比, 提出了甲基环己烷和环己烷指数等参数<sup>[16]</sup>; 王海清等用正庚烷值、异庚烷值等研究四川凝析油的油源<sup>[17]</sup>; 王培荣, 朱俊章等用 Mango 参数等研究了塔里木盆地海、陆相部分原油的油源<sup>[18,19]</sup>; 王培荣等报道了中国江汉盆地原油的轻烃地球化学特征<sup>[20]</sup>。

目前 CNPC 油气地球化学重点实验室(KLPG) 的原油轻烃数据库已存有 722 个油样(121 个样品有轻馏分 C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub> 或—C<sub>15</sub> 的分析资料), 其中 305 个油

2006-09-26 收稿, 2006-12-04 收修改稿

\* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40573030)

\*\* E-mail: prwang@petrochina.com.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

样尚有饱和烃的 GC/MS 分析数据, 本研究在此基础上, 选用 12 个油区的 194 个油样, 按地质背景资料和伽玛蜡烷比值[  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  ] 进行分类, 将油样的烃源岩沉积环境分为盐湖、淡-微咸(包括湖沼)、半咸-咸(包括塔里木盆地海相油样), 采用一系列先进的分析技术, 对原油的  $C_5-C_{13}$  馏分进行了精细的气相色谱分析, 分析结果的约 286 个色谱峰化合物作了族组成的定性研究, 在此基础上, 结合样品的 GC/MS 分析数据所反映的其地球化学性质和样品的地质背景, 对原油  $C_6-C_{13}$  馏分族组成和族组成比值在油-油对比、判识烃源岩沉积水体盐度方面的地化应用进行了有益的探索。

## 1 样品和实验

### 1.1 样品及其按烃源岩沉积水体盐度的分类

本研究选用的 12 个油区的样品共 194 个, 分别采自中国西部的塔里木、吐哈、焉耆、柴达木、鄂尔多斯盆地, 东北部的松辽盆地, 东部渤海湾盆地的胜利、冀东、华北盆地各油区, 海洋东部公司所属珠一凹陷, 中部的江汉盆地、南襄盆地的中原油区。这些样品基本上遍及中国各大油田, 具有一定的代表性, 其中 125 个样品有饱和烃 GC/MS 分析数

据。表 1 是 11 个油区部分样品的地化参数统计表, 样品中有烃源岩沉积环境为盐湖、湖沼、淡-微咸、半咸-咸的油样以及塔里木盆地海相油样。伽玛蜡烷是一种与烃源岩沉积时水体盐度有关的生物标志化合物<sup>[21]</sup>, 由表 1 可知样品是根据地质背景资料和伽玛蜡烷比值[  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  ], 按烃源岩沉积水体盐度进行分类的, 每一类中约 80% 的样品该比值的标准偏差小于 0.4, 标准偏差/平均值一般约  $\leq 0.5$ , 仅江汉、胜利  $E_2S_4$  盐湖相油样的  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值分布范围宽, 标准偏差达 1.91, 其次是柴达木高伽玛蜡烷原油该比值分布范围也较宽, 标准偏差为 0.81, 这说明每一类样品其烃源岩沉积时水体盐度大致有相似性, 也说明这个分类基本上是成功和允许的。从表 1 还可见到, 在江汉、胜利  $E_2S_4$  盐湖相、中原高伽玛蜡烷、江汉新沟嘴组油样, 以及柴达木高伽玛蜡烷和华北、冀东伽玛蜡烷较低等油样中, 反映油样成熟度参数的  $C_{29}$  甾  $20S/(20S+20R)$  值有高有低, 既有未熟-低熟油样, 也有已成熟的油样。另外, 反映烃源岩生烃母质类型的参数  $C_{29}/C_{27}$  甾  $(20R)$  小于 1 或大于 1 的都有, 这说明本研究样品分类主要是按烃源岩沉积水体的盐度而未考虑原油成熟度和母质类型的区别。

表 1 11 个油区部分样品的地化参数统计表<sup>a)</sup>

序号	地区和沉积相	$C_{29}$ 甾 $20S/(20S+20R)$	$C_{29}/C_{27}$ 甾 $20R$	$G_{am}/C_{31}H(S+R)$
1	江汉、胜利 $E_2S_4$ 盐湖相油样 (14 个)	$0.22-0.55$ 0.41 0.24	$0.47-2.37$ 1.06 0.53	$0.49-6.55$ 1.96 1.24
2	江汉新沟嘴组半咸-咸油样 (6 个)	$0.35-0.54$ 0.45 0.16	$0.73-2.85$ 1.77 0.43	$1.13-2.92$ 1.68 0.43
3	塔里木海相油样 (27 个)	$0.50-0.56$ 0.53(9) 0.04(9)	$1.51-2.08$ 1.69(9) 0.10(9)	$0.19-1.40$ 0.43(9) 0.88(9)
4	中原高伽玛蜡烷油样 (14 个)	$0.17-0.51$ 0.36 0.32	$0.6-1.52$ 1.08 0.23	$0.53-1.64$ 1.17 0.30
5	柴达木高伽玛蜡烷油样 (16 个)	$0.20-0.51$ 0.37 0.25	$0.41-1.21$ 0.83 0.30	$0.68-3.76$ 1.55 0.52
6	松辽盆地 $K_1$ 淡-微咸的油样 (45 个)	$0.31-0.65$ 0.48(20) 0.19(20)	$0.44-1.78$ 1.27(20) 0.32(20)	$0.09-0.52$ 0.35(20) 0.30(20)

续表

序号	地区和沉积相	$C_{29}\text{甾}20S/(20S+20R)$	$C_{29}/C_{27}\text{甾}20R$	$G_{am}/C_{31}H(S+R)$
7	华北、冀东伽玛蜡烷较低油样 (10 个)	0.26—0.47	1.11—1.84	0.07—0.16
		0.38	1.40	0.12
		0.19	0.21	0.23
8	胜利伽玛蜡烷较低油样 (14 个)	0.25—0.62	0.37—1.97	0.05—0.31
		0.41	1.14	0.19
		0.27	0.50	0.57
9	柴达木伽玛蜡烷较低油样 (4 个)	0.47—0.52	2.22—2.33	0.06—0.07
		0.49(2)	2.28(2)	0.06(2)
		0.07(2)	0.04(2)	0.07(2)
10	长庆伽玛蜡烷较低油样 (9 个)	0.36—0.56	1.39—2.45	0.12—0.41
		0.49	1.90	0.26
		0.11	0.17	0.32
11	吐哈、焉耆煤系地层油样 (11 个)	0.40—0.56	2.88—22.98	0.02—0.05
		0.47	8.33	0.03
		0.09	0.62	0.47

a) 表中“地区和沉积相”栏内括号的数据表示色谱分析数,其他 3 栏由上而下依次为:分布范围;平均值;平均标准偏差(GC/MS 分析样品数),若未列出 GC/MS 分析数,则表示 GC/MS 与 GC 分析数相同。

$C_{29}\text{甾}20S/(20S+20R)$  为 20S-24-乙基-5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H)-胆甾烷/(20S-24-乙基-5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H)-胆甾烷+20R-24-乙基-5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H)-胆甾烷);  $C_{29}/C_{27}\text{甾}(20R)$  为 20R-24-乙基-5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H)-胆甾烷/20R-5 $\alpha$ (H), 14 $\alpha$ (H), 17 $\alpha$ (H)-胆甾烷;  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  为伽玛蜡烷/(22R-17 $\alpha$ (H), 21 $\beta$ (H)-升藿烷+22S-17 $\alpha$ (H), 21 $\beta$ (H)-升藿烷)

## 1.2 实验

原油轻馏分  $C_5-C_8$  的分析技术已很成熟,并已有大量的研究成果发表,但把分析对象的碳数扩展至  $C_{13}$  尚有一定的难度,定性研究是首先要攻克的一个问题,对此我们已取得突破性进展,成果另文发表<sup>1)</sup>,本研究的实验条件和族组成定性结果如下:

色谱:Agilent 6890 配有 7683 型自动进样器、“PTV”进样器和“反吹”装置,色谱柱为 HP 50m PONA 柱,载气为  $N_2$ ,采用“PTV-反吹”法<sup>2)</sup>,进行全油的色谱分析。

色谱-质谱:Agilent 5975 MSD, GC 6890N 配有 7683B 自动进样器、Nist 0.5 谱库(包含 190825 张谱图)、“PTV”进样器、“反吹”、“G3180B 微流控”装置和“FID”检测器.采用“PTV-反吹”法<sup>22)</sup>,全油一次进样,用“微流控”装置控制 HP 50m PONA 柱的末端分流,一部分进入 FID 检测器,另一部分进入 MSD 检测器,同时获得峰保留时间完全相同的色谱和总离子流图。

实验条件和化合物定性有待发表文章<sup>1)</sup>相同.目前在  $C_5-C_{13}$  轻馏分可作族组成定性的峰约 286

个(见图 1),尚有不少混合峰存在。

## 2 有机地球化学应用初探

### 2.1 各类原油 $C_6-C_{13}$ 轻馏分族组成特征一应用于油、油对比的可能性探索

以吐哈、焉耆盆地湖沼相和江汉潜江凹陷等盐湖相油样为例,本研究采用  $C_5-C_{13}$  轻馏分分析的吐哈、焉耆、江汉、胜利油样共 12 个(详见表 2),样品无次生蚀变和混源的现象,也未见相关的报道.表中尚列有代表塔里木盆地源自下古生代烃源岩的海相原油<sup>23)</sup>和源自沉积在淡-微咸环境烃源岩的大庆油样<sup>24)</sup>各一个,用作对比.吐哈、焉耆是中国典型的侏罗系湖沼相煤系地层成油盆地<sup>25)</sup>,选 6 个油样作代表,仅托参 1 井油样为源自二叠系泥质烃源岩.江汉盆地则是中国典型的盐湖相盆地<sup>26)</sup>,选 3 个油样作代表,其成熟度差异较大,广 33、高斜 47 井的为未熟-低熟油,广 27 井的则是成熟油,它们的伽玛蜡烷浓度均很高,但  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值差别较大,自 1.72 至 4.79.胜利  $E_2S_4$  也是盐湖相沉积<sup>28)</sup>,所选油样均为成熟油,但它们的  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值差异甚大。

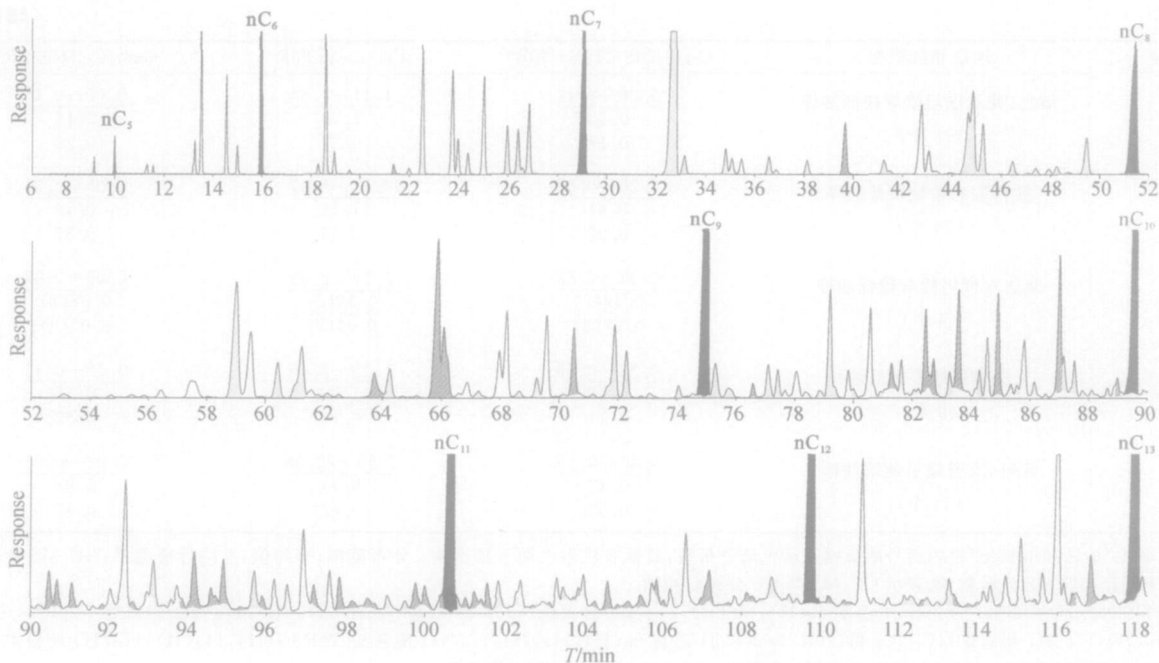


图 1 平湖 4 井原油  $C_5$ — $C_{13}$  轻馏分的族组分定性图  
(黑色为正构烷烃; 白色为异构烷烃; 蓝色为环烷烃; 红色为芳烃)

表 2 应用研究中涉及的原油样品的部分生标参数及沉积环境背景

地区	井号	井段/m	层位	$C_{29}$ 甾 $S/(S+R)$	$C_{29}/C_{27}$ 甾 20R	$Gam/C_{31}H$ ( $S+R$ )	备注 <sup>a)</sup>
吐哈	陵 2 井	2748.7—2758.4	$J_2x$	0.48	6.89	0.02	源自侏罗系煤系地层
	勒 4 井	2692—2737	$J_2x$	0.41	8.17	0.02	
	陵 3 井	2411.4—2416.3	$J_2s$	0.46	7.30	0.02	
	温 5 井	2410.2—2424.4	$J_2s$	0.45	6.61	0.04	
	托参 1 井	2428—2435	$J_{2-3}k$	0.40	2.88	0.05	源自 $P_2$ 湖相泥岩
焉耆	宝 1 井	2192—2272	$J_{1s}$	0.50	22.98	0.03	源自侏罗系煤系地层
	图 103 井	2530—2550	$J_{1s}$	0.56	5.45	0.04	
	高斜 47 井	1980—1985.6	$E_2q_4$	0.32	0.76	3.80	源自盐湖相烃源岩
江汉	广 33 井	1829	$E_2q_1$	0.22	0.65	4.79	
	广 27 井	1919.4—1921.4	$E_2q_1$	0.49	1.22	1.72	
胜利	滨 424 井	2514—2521	$E_{2s4}$	0.47	1.32	0.34	源自 $E_2S_4$ 盐湖相烃源岩
	渤深 4 井	3898.6—3924.4	$E_{2s4}$	0.49	0.77	6.55	
塔里木	塔中 10 井	4227—4234	C	0.53	2.08	0.19	源自中上奥陶海相烃源岩
大庆	喇 11—151 井	1094—1089	$K_1$				源自 $K_1$ 淡-微咸深湖相泥岩

a) 引自文献[23—27]

图 2(a)—(f) 分别为吐哈、焉耆盆地和江汉、胜利  $E_2S_4$  的盐湖相油样中  $C_6$ — $C_{13}$  链烷、环烷和芳烃的质量分数  $w$  (百分含量)。由图 2(a)—(c) 可见源自吐哈盆地侏罗系煤系地层  $C_6$ — $C_{13}$  的链烷%、环烷%和芳烃%的分布是相似的, 而烃源岩沉积水

体盐度与吐哈盆地相似的焉耆盆地宝 1、图 103 井油样也有相似的  $C_6$ — $C_{13}$  族组分百分含量的分布; 吐哈盆地托参 1 井油样源自  $P_2$  湖相泥岩, 其族组分百分含量分布上, 链烷与源自煤系地层的吐哈盆地油样相当一致, 环烷和芳烃稍有区别。在图 2 中有

3 个分别为塔里木盆地源自中、上奥陶海相源岩、松辽盆地下白垩系淡-微咸的深湖相泥岩和江汉盐湖相源岩的油样，它们的  $C_6-C_{13}$  族组分百分含量分布与吐哈源自湖沼相煤系地层的油样有明显的不同，且三者相互之间也有很大区别。由上显示沉积水体盐度对原油  $C_6-C_{13}$  轻馏分族组分百分含量分布有相当大的影响。

图 2(d)–(f) 分别为江汉、胜利  $E_2S_4$  盐湖相样品的  $C_6-C_{13}$  族组成百分含量的分布，虽然有些分散，但有共同的分布特征，与烃源岩沉积水体盐度

截然不同的塔里木海相油、源自松辽盆地  $K_1$  淡-微咸的深湖相烃源岩油样和吐哈、焉耆盆地煤系地层油样相比，其分布有明显差异，特别是它们的芳烃 % 相对是最高的，由图 2 还可见到，烃源岩沉积水体盐度为淡-微咸的大庆喇 11–151 井油样的  $C_6-C_{13}$  环烷烃百分含量，与其他 3 种不同沉积水体盐度烃源岩生成的油样相比是相对最高的。烃源岩沉积水体盐度为半咸-咸的塔中 10 井海相油样，则是  $C_6-C_{13}$  链烷烃百分含量相对最高。

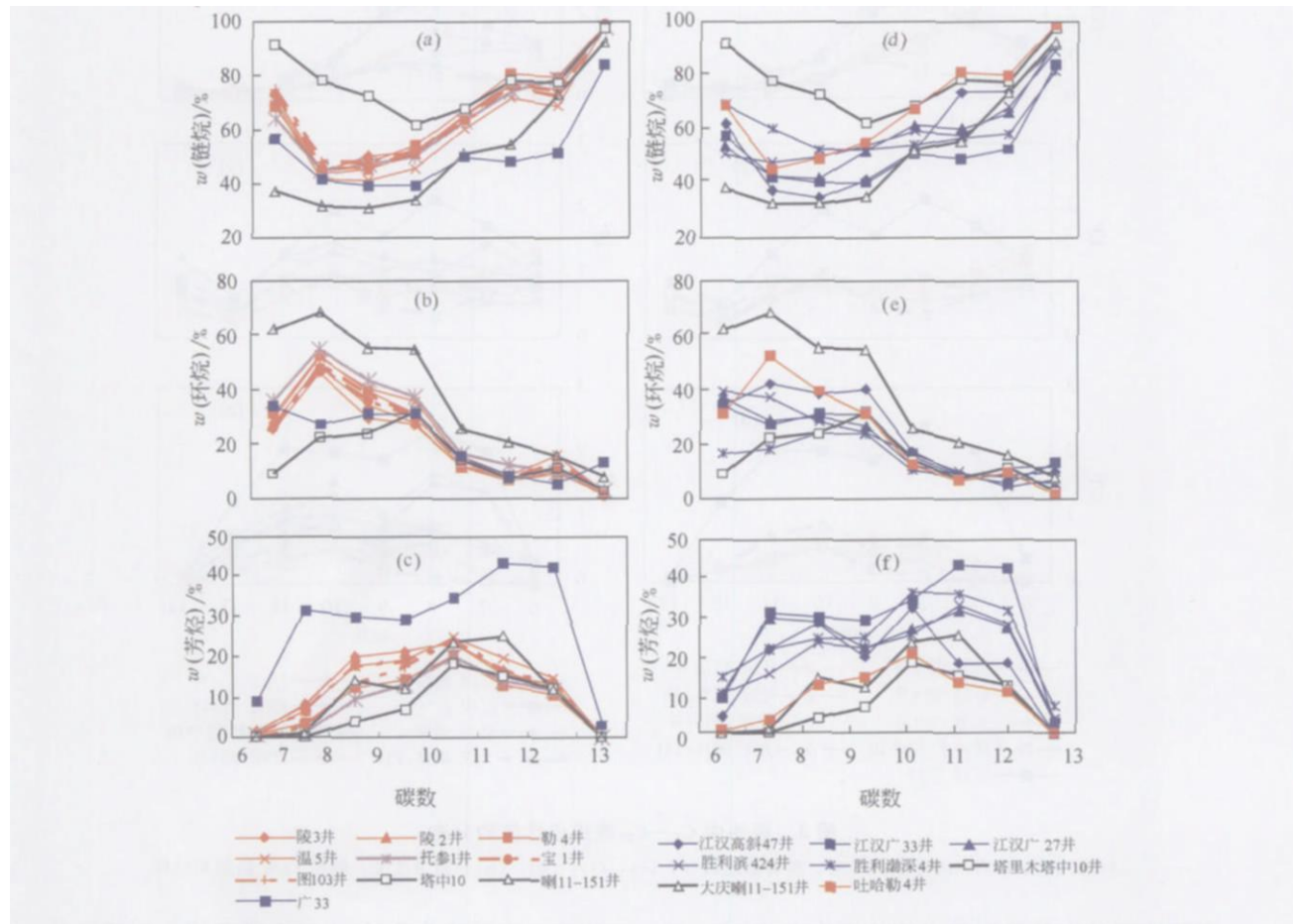


图 2  $C_6-C_{13}$  链烷、环烷和芳烃的百分含量分布

(a), (b), (c) 分别为吐哈、焉耆盆地油样; (d), (e), (f) 分别为江汉、胜利  $E_2S_4$  油样

图 3(a)–(d) 分别是吐哈、焉耆盆地油样  $C_6-C_{13}$  的 4 种族组成比值的分布，(e)–(h) 是江汉、胜利  $E_2S_4$  盐湖相油样。图中 N 为环烷烃，I 为异构烷烃，P 为正构烷烃，A 表示芳烃。由图 3 可见，吐

哈、焉耆盆地油样和江汉、胜利  $E_2S_4$  油样有与图 2 中油样  $C_6-C_{13}$  族组成百分含量分布有相似的特点，需注意的是，图 3(a), (b), (e), (f) 显示源自淡-微咸环境的大庆喇 11–151 井油样与其他沉积水体

盐度油样相比, 有最高的  $C_6-C_{13}$  N/I 和 N/P 值, 图 3(c), (d), (g), (h) 则显示源自江汉、胜利

$E_2S_4$  盐湖相油样的  $C_6-C_{13}$  族组成比值与其他沉积水体盐度油样相比, 具最高的 I/P 和 A/P 值。

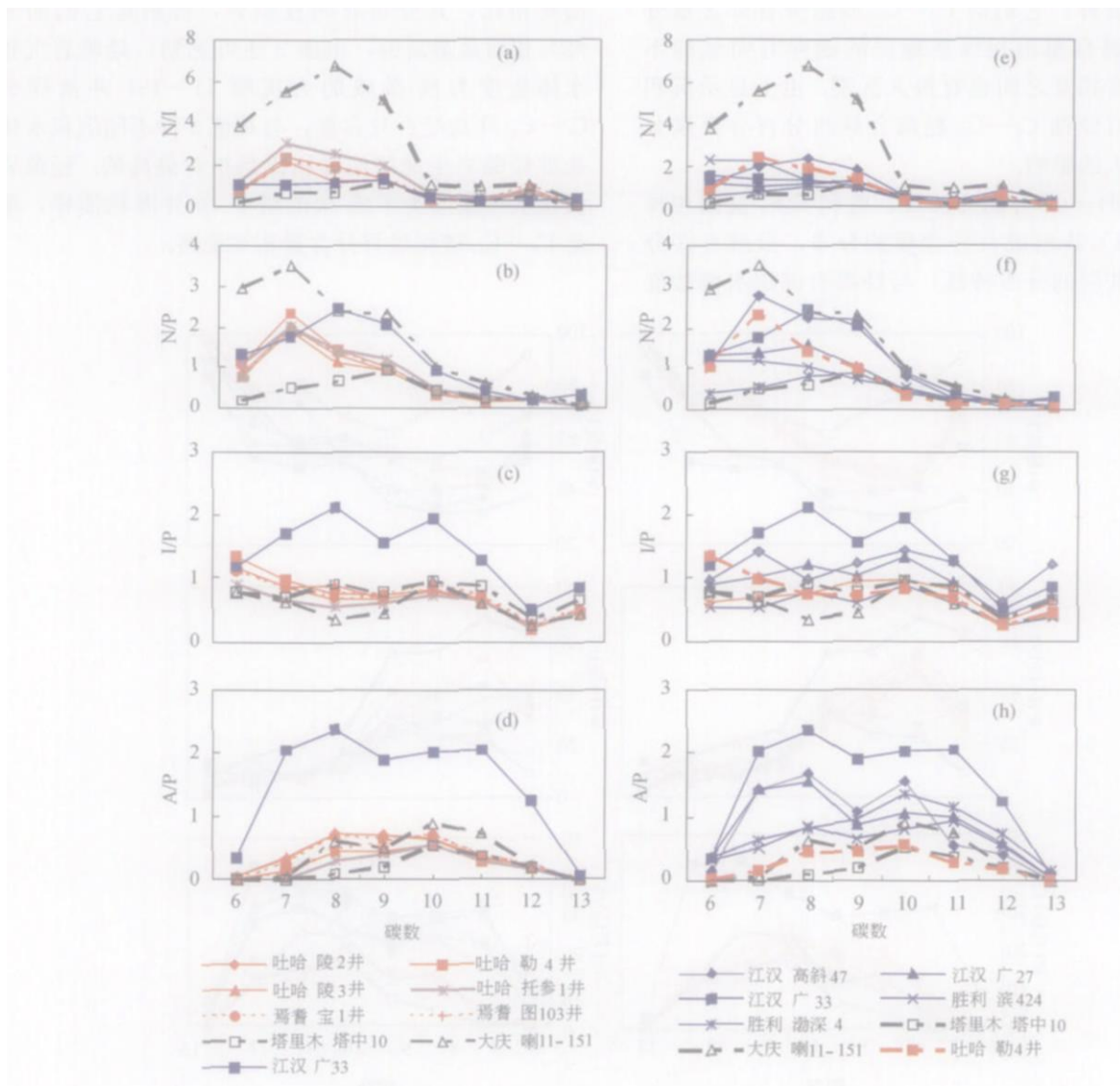


图 3 原油中  $C_6-C_{13}$  族组成比值的分布

(a), (b), (c), (d) 分别为吐哈、焉耆盆地油样; (e), (f), (g), (h) 分别为江汉、胜利  $E_2S_4$  盐湖相油样

本研究样品中其他沉积水体盐度为半咸-咸、淡-微咸的分析结果也得相同的结果, 因此, 推测同源原油  $C_6-C_{13}$  轻馏分的族组成百分含量和族组成比值的分布可能具相似性, 沉积水体盐度和物源相似的油样之间也具一定程度的相似性, 而烃源岩沉积水体盐度差异较大的油样之间则会有某种明显的差异。原油轻馏分  $C_6-C_{13}$  的族组成百分含量和族组成

比值, 有可能作为油-油对比研究的一种新参数, 由于原油  $C_6-C_{13}$  馏分是整个原油重要的组成部分之一, 尤其是对轻质油、凝析油来说, 几乎占据全油质量的 90% 以上, 因此, 新对比参数应具较高的可信度。若能得烃源岩可溶有机质轻馏分的分析数据, 还可用于油-岩对比的研究。

提出新的地化参数除有典型样品外, 尚需有

大量的统计数据来证实其可靠性和普遍性, 本研究所作原油  $C_5-C_{13}$  轻馏分分析的油样数量 121 个, 尚属有限. 从图 2、图 3 不同沉积环境典型油样的  $C_6-C_{13}$  族组分百分含量和族组成比值的对比中, 可看出  $C_7$  的族组成相对丰度是不同沉积水体盐度各种区别最明显的点, 为此利用 KLPG 轻烃数据库的  $C_7$  轻烃资料作进一步的探索和验证.

### 2.2 用 $G_7$ 轻烃参数判识烃源岩沉积水体盐度

12 个油区的 194 个油样采自江汉、胜利、塔里木、柴达木、吐哈、焉耆、长庆、大庆、吉林、胜利、华北、冀东、中原、江汉和海洋东部珠一凹陷. 由图 4 可见, 不同油区的各类样品相对集中. 烃源岩沉积水体盐度淡-微咸的 117 个油样(蓝色),  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值平均为 0.23, 其  $N/I$  比值  $\geq 2$ ,  $I/P$  值  $\leq 1$  左右,  $A/P$  值  $\leq 0.7$ , 绝大部分  $< 0.5$ . 为半咸-咸时(棕色),  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值平均为 0.55, 其  $N/I \leq 2$ ,  $I/P$  值  $< 1$ ,  $A/P$  值  $< 0.5$ . 江汉、胜利( $E_2S_4$ )的 14 个盐湖油样和中原、柴达木高伽玛蜡烷 30 个油样(红色),  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值平均为 1.56, 其  $N/I$  值  $< 2$  占 86%,  $I/P$  值  $> 1$ ,  $A/P$  一般  $> 0.6$ . 132 个油样  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  与  $N/I$  的关系图, 为生物标志化合物参数与轻烃参数之间的相关性研究走出了探索性的第一步, 显示出原油中伽玛蜡烷浓度所反映的烃源岩沉积环境的淡、盐程度与轻烃族组成具有相关性.  $G_{am}/C_{31}H(S+R) \geq 0.5$  时, 绝大多数油样的  $N/I$  值  $\leq 2$ , 仅有几个例外, 烃源岩沉积水体盐度为淡-半咸的油样(蓝色), 其  $G_{am}/C_{31}H(S+R) \leq 0.5$ ,  $N/I$  值  $> 2$ .  $N/I$  值  $< 2$  且多数样品  $G_{am}/C_{31}H(S+R) \leq 0.5$  的, 主要是塔里木海相油样.

图 5 为几种不同沉积水体盐度的  $C_7$  轻烃族组成分布图. 由图可见松辽盆地、华北、冀东、胜利、柴达木、长庆、吐哈、焉耆油区  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  比值较低, 各油区的平均值分别为 0.03—0.35 的油样(蓝色), 表现出具高环烷%(在 50%左右)和高甲基环己烷%(约 30%—45%)的特点. 塔里木海相油样和江汉、柴达木油区烃源岩沉积环境为半咸-咸的油样(棕色), 其  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  比值在 0.43—1.68, 具高链烷%(约 60%左右)的特

征, 而江汉、胜利  $E_2S_4$  盐湖相油样和中原高伽玛蜡烷油样(各区平均值分别在 1.17—2.80), 具高芳烃%(30%左右)的特点(红色), 三者区分较明显.

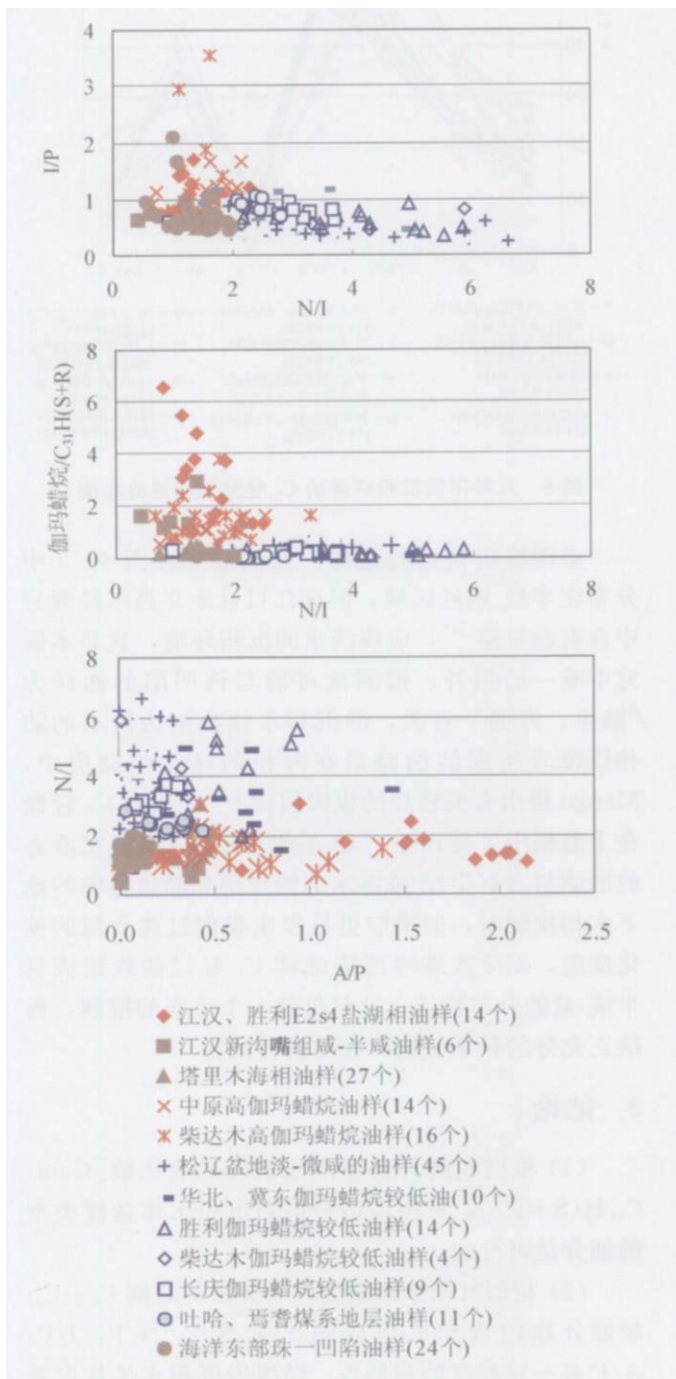


图 4 194 个油样的  $I/P$  与  $N/I$ ,  $N/I$  与  $A/P$  和 133 个油样伽玛蜡烷与  $N/I$  的关系图

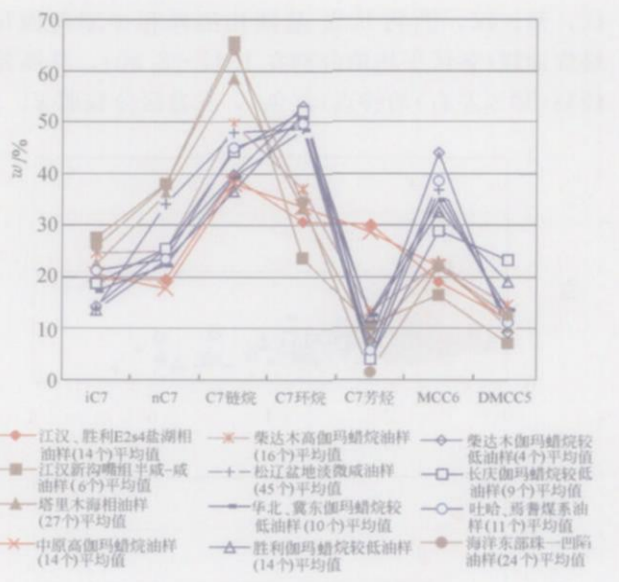


图 5 几种不同沉积环境的  $C_7$  轻烃族组成分布图

必须提出讨论的是珠一凹陷油样在图 4、5 中分布在半咸-咸的区域，但珠江口盆地文昌组烃源岩中含有盘星藻<sup>[28]</sup>，应属淡水的沉积环境，这是本研究中唯一的例外，推测这可能与该凹陷的油样为“陆生、海储”有关，即沉积水体盐度为淡水的陆相烃源岩生成的油储集在海相的珠江组储层中，Mango 提出有关轻烃的成因假说<sup>[6,7]</sup>，认为  $C_7$  轻烃在干酪根中可能产生“稳态催化反应”，则在液态的油滴与含有半咸-咸海水的输导层和储集层中的地下水相接触时，似乎应更易发生类似过渡金属的催化反应，而导致珠一凹陷油样  $C_7$  轻烃的族组成具半咸-咸的分布特征，这仅仅是一个大胆的推测，尚缺乏充分的科学证据，有待研究证实。

### 3 结论

(1) 根据地质背景和原油伽玛蜡烷比值[ $G_{am}/C_{31}H(S+R)$ ]，对原油进行源岩沉积水体盐度类型的划分是可行的。

(2) 相似沉积水体盐度和物源油样之间  $C_6-C_{13}$  轻馏分族组成和族组成的比值  $N/I$ ， $N/P$ ， $I/P$ ， $A/P$  具一定程度的相似性。烃源岩沉积水体盐度差异较大的油样之间， $C_6-C_{13}$  族组成和族组成的比值有某种明显差异。因此，原油的  $C_6-C_{13}$  轻馏分族组成和族组成的比值，有可能作为油-油对比、沉积

环境等地化研究的新参数。

(3) 源自淡-微咸环境的油样与其他沉积水体盐度油样相比，有最高的  $C_6-C_{13}$  环烷烃百分含量、 $N/I$  和  $N/P$  值，源自盐湖油样的  $C_6-C_{13}$  族组成中， $I/P$  和  $A/P$  值最高。特别是它们的芳烃%相对是最高的，烃源岩沉积水体盐度为半咸-咸的油样，则是  $C_6-C_{13}$  链烷烃百分含量相对最高。

(4) 源自盐湖相原油的  $C_7$  族组成特征：芳烃%高(平均约 30%)；甲苯/正庚烷值高 ( $Tol/nC_7$  一般  $>0.6$ )、 $N/I$  比值低 ( $\leq 2$ )；源自淡-半咸环境的原油轻馏分族组成特征： $C_7$  环烷百分含量高(平均约 50%)、 $MCC_6$  百分含量高(平均约 35%)、 $N/I$  高 ( $>2$ )、 $Tol/nC_7$  低 ( $\leq 0.6$ )。源自半咸-咸环境和塔里木海相烃源岩原油的轻馏分族组成特征： $C_7$  族组成中  $C_7$  链烷%高(平均约 60%)， $Tol/nC_7$  (一般  $<0.6$ )， $N/I$  比值低 ( $<2$ )。

(5) 当  $G_{am}/C_{31}H(S+R)$  值  $\geq 0.5$  时， $N/I$  值  $\leq 2$ ，为生物标志化合物参数与轻烃参数之间的相关性研究走出了探索性的第一步。

诚然，油样成熟度等会影响轻烃的参数值，但本研究的近 200 个样品，表现出上述规律似乎主要受烃源岩沉积水体盐度的控制。

本探索研究的样品数有限，故结论是初步的，有待进一步深入研究。

致谢 感谢原中国海洋石油总公司海洋石油勘探开发研究中心谢泰俊副总地质师所作的有益的讨论和帮助。

### 参 考 文 献

- Hunt JM. Origin of gasoline range alkanes in the deep sea. *Nature*, 1975, 254: 411-413
- Thompson KFM. Light hydrocarbons in subsurface sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(5): 657-672
- Thompson KFM. Classification and thermal history of petroleum based on light hydrocarbons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1983, 47(2): 303-316
- Thompson KFM. Fractionated aromatic petroleum and the generation of gas-condensates. *Organic Geochemistry*, 1987, 11(6): 573-590
- Thompson KFM. Gas-condensates migration and oil fractionation in deltaic systems. *Marine and Petroleum Geology*, 1988, 5(3): 237-246



- 6 Mango FD. The origin of light hydrocarbons in petroleum: A kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54(5): 1315—1323
- 7 Mango FD. The light hydrocarbons in petroleum: A critical review. *Organic Geochemistry*, 1997, 26(7-8): 417—440
- 8 Bement WO, Levey RA, Mango FD. The temperature of oil generation as defined with C<sub>7</sub> chemistry maturity parameter (2,4-DM P/2,3-DM P ratio). In: Grimalt JO, Dorronsoro C eds. *Organic Geochemistry: Developments and Applications in Energy, Climate Envelopments and Human History*, Donostia-San Sebastian, Spain; AIGOA, 1995, 505—507
- 9 Halpern HL. Development and applications of light-hydrocarbons-based star diagrams. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 1995, 79(6): 801—815
- 10 Ten Haven HL. Applications and limitations of Mango's light hydrocarbons parameters in petroleum correlation studies. *Organic Geochemistry*, 1996, 24(10-11): 957—976
- 11 Odden W, Patience RL, van Graas GW. Applications of light hydrocarbons(C<sub>4</sub>—C<sub>13</sub>) to oil/source rock correlations: A study of the light hydrocarbons compositions of source rocks and test fluids from offshore Mid-Norway. *Organic Geochemistry*, 1998, 128(12): 823—847
- 12 Odden W, Barth T. Study of the composition of light hydrocarbons (C<sub>5</sub>—C<sub>13</sub>) from pyrolysis of source rock samples. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(2-3): 211—229
- 13 Whiticar MJ, Snowdon LR. Geochemical characterization of selected Western Canada oils by C<sub>5</sub>—C<sub>8</sub> compound specific isotope correlation (CSIC). *Organic Geochemistry*, 1999, 30(9): 1127—1161
- 14 George SC, Boreham CJ, Minifie SA, et al. The effect of minor to moderate biodegradation on C<sub>5</sub> to C<sub>9</sub> hydrocarbons in crude oils. *Organic Geochemistry*, 2002, 33(12): 1293—1317
- 15 Obemajer M, Osadetz KG, Fowler MG, et al. Delineating compositional variabilities among crude oils from Central Montana, USA, using light hydrocarbon and biomarker characteristics. *Organic Geochemistry*, 2002, 33(12): 1343—1359
- 16 胡惕麟, 戈葆雄, 张义纲, 等. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用. *石油实验地质*, 1990, 12(4): 375—393
- 17 王海清, 王廷栋, 黄清德, 等. 源岩 C<sub>4</sub>—C<sub>7</sub> 轻烃分析方法及其应用. *西南石油学院学报*, 1991, 13(4): 31—35
- 18 朱俊章, 王培荣. 原油中 nC<sub>4</sub>—nC<sub>14</sub> 馏分峰的色谱鉴定及地质应用初探. *色谱*, 1994, 12(5): 336—341
- 19 王培荣, 朱俊章, 方孝林, 等. 一种新的原油轻烃分类法 塔里木盆地原油分类及其地化特征. *石油学报*, 1998, 19(1): 24—28
- 20 王培荣, 张大江, 肖廷荣, 等. 江汉盆地原油轻烃的地球化学特征. *石油勘探与开发*, 2005, 32(3): 45—47
- 21 Peters KE, Moldowan JM. 著. 生物标志化合物指南. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995
- 22 肖廷荣, 蔡冰, 孟建华, 等. 两种轻烃分析方法的对比研究. *色谱*, 2001, 19(4): 304—308
- 23 贾承造主编. 塔里木盆地石油地质与勘探丛书(卷7). 张水昌, 梁狄刚, 张宝民, 等著. 塔里木盆地海相油气的生成. 北京: 石油工业出版社, 2004
- 24 高瑞祺, 蔡希源, 等著. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 25 王昌桂, 陈克明, 徐永昌, 等著. 吐哈盆地侏罗系煤成烃地球化学. 北京: 科学出版社, 1998
- 26 戴世昭主编. 江汉盐湖盆地石油地质. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 27 翟光明主编. 中国石油地质志(卷6), 胜利油田. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 28 吴国焯, 朱为林, 黄正吉, 等. 湖相沉积浮游藻类及有机质类型与烃源研究. *同济大学学报*, 1998, 26(2): 176—179