

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

叠合盆地多烃源层混源油定量判析

——以准噶尔盆地东部彩南油田为例

陈建平^{1,2,3)} 邓春萍^{1,2)} 梁狄刚^{1,2)} 王绪龙⁴⁾ 宋孚庆^{1,2)} 薛新克⁴⁾ 靳 涛⁴⁾ 钟宁宁^{2,5)}

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083

2) 中国石油天然气集团公司油气地球化学重点实验室, 北京, 100083

3) 中国矿业大学煤炭资源教育部重点实验室, 北京, 100083

4) 中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司, 新疆克拉玛依, 834000; 5) 石油大学, 北京, 102249

内容提要 准噶尔盆地东部地区彩南油田东块原油为二叠系、三叠系和侏罗系烃源岩形成的混合原油。选择典型的二叠系、三叠系、侏罗系原油进行人工三元混合配比模拟实验表明, 混合原油的全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化与混入量呈直线关系, 而 Pr/Ph 值、 β -胡萝卜素、甾烷与萜烷等各种生物标志物相对比值参数均呈不同的曲线关系变化。通过人工混合配比实验创建的三角形图版判别验证, 彩南油田原油中侏罗系的平均贡献为65%左右, 二叠系和三叠系的平均贡献分别为20%和15%左右。按照彩南油田原油全油碳同位素以及各类生物标志物参数的变化范围判别, 侏罗系烃源岩的贡献为55%~70%左右, 三叠系和二叠系均为10%~30%左右。

关键词 混源油 三元配比实验 碳同位素 生物标志物 侏罗系 三叠系 二叠系 准噶尔盆地 彩南油田

在多套烃源岩发育的叠合沉积盆地中, 判识混合原油油源或确定每类源岩的贡献是十分困难的。Dzou 等(1999)应用第三系断代生物标志物二萜类和奥利烷及25-降藿烷系列确定哥伦比亚 Central Llanos 盆地一些原油为早期注入油藏的、来自白垩系的降解原油与第三系正常原油的混合原油; Peters 等(1999)应用24-正丙基胆甾烷(24-n-propylcholestanes)、 β -胡萝卜素、25-降藿烷以及24-或27-降胆甾烷等生物标志物判定苏格兰 Brora 地区碎屑岩油砂中的原油为泥盆系湖相源岩生成的原油和白垩纪及其以后的海相源岩生成原油的混合原油; 还有一些作者研究了英国北海和南亚特兰大地区混源油(Peters et al., 1993; Isaksen et al., 2002)。这些研究者基本上都是研究先期的降解油与后期正常原油形成的混合油, 而且没有指出两类源岩各自的贡献比例。Peters 等(1989)曾经用碳同位素方法计算了英国 Inner Moray Firth 的一个由中侏罗统和泥盆系两源混合形成的混源油中两类源岩的大致贡献。然而, 对两个以上非生物降解的正常原油

混合形成的混合原油的判识要比判识一个降解油和一个正常油的混合或者两个正常原油的混合难得多, 对各自贡献比例的定量则更难, 到目前为止这方面研究尚未见有报道。

准噶尔盆地东部地区存在阜康、东道海子北、五彩湾和吉木萨尔等生油凹陷(图1), 发现了彩南、火烧山等一批油田。以往的勘探和研究发现, 该地区存在石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系四套烃源岩层系, 油气源关系十分复杂。该地区最大的油田彩南油田原油与四套烃源岩均没有明确的油源关系, 自1990年发现以来一直存在多种观点。许多研究者认为彩南油田原油来源于侏罗系或者主要来源于侏罗系, 是典型的煤成油(王屿涛, 1994; 丁安娜等, 1997; 王绪龙等, 1999)^{①②③④}; 许多研究者尤其是油田勘探家认为主要来源于二叠系(刘得光等, 2000, 私人交流)^⑤; 还有一些研究者认为来源于三叠系—侏罗系烃源岩中的混合型母质^⑥。实际上, 这些研究者均未对该地区的原油进行定量及详细系统的对比研究, 陈建平等(2003)^⑦通过对该地区各类烃源岩和原油

注: 本文为国家自然科学基金(编号 49873001)和中国石油天然气股份有限公司项目(编号 010109-3)资助成果。

收稿日期: 2003-02-18; 改回日期: 2003-09-08; 责任编辑: 周健。

作者简介: 陈建平, 男, 1962年生。现为中国石油勘探开发研究院高级工程师, 中国矿业大学(北京校区)在职博士研究生, 从事油气地球化学和石油地质综合研究。通讯地址: 100083, 北京910信箱, CNPC 油气地球化学重点实验室; 电话: 010-62098619; Email: chenjp@petrochina.com.cn。

谱仪按照中国石油行业标准(SY/T6338-1997)进行族组分定量。

全油气相色谱分析使用 Varian 3700 气相色谱仪。色谱柱为固定相 OV-1 的弹性石英毛细柱, 长 30m, 内径 0.25mm, 涂膜厚 0.22 μ m。载气 N₂, 柱前压 9 psi (6.19 $\times 10^4$ Pa)。样品通过分流阀接口器导入色谱柱, 气化室温度 320 $^{\circ}$ C。色谱初始温度为 40 $^{\circ}$ C, 恒温 4min, 然后以 8 $^{\circ}$ C/min 的升温速率升温到 310 $^{\circ}$ C 并在此温度保持 40min。检测器温度保持在 320 $^{\circ}$ C。

饱和烃气相色谱分析使用 HP 5890 气相色谱仪。色谱柱为 HP-1 弹性石英毛细柱, 长 30m, 内径 0.25mm, 涂膜厚 0.25 μ m。载气 N₂, 柱前压 9 psi (6.19 $\times 10^4$ Pa)。样品通过分流阀接口器导入色谱柱, 气化室温度 320 $^{\circ}$ C。色谱初始温度为 100 $^{\circ}$ C, 以 6 $^{\circ}$ C/min 的升温速率升温到 310 $^{\circ}$ C 并在此温度保持 40min。检测器温度保持在 320 $^{\circ}$ C。

饱和烃色谱-质谱分析使用 VG 公司 FISON 8100 色谱-质谱仪。色谱柱为 J&W Scientific DB5 弹

表 1 典型原油基本地球化学参数表

Table 1 Bulk of geochemical data of three typical oils from the East Junggar basin

井号	产层	分类	来源	饱和烃 (%)	芳烃 (%)	非烃 (%)	沥青质 (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	CPI	C ₂₁ -/C ₂₂ ⁺	MPI	R _c (%)
滴南 1	P ₂ p	第一类	二叠系	74.98	9.78	12.28	2.96	-30.8	1.74	0.55	0.35	1.18	2.12	0.81	0.88
阜 5	T ₂₋₃ x	第二类	三叠系	81.76	7.76	7.71	2.77	-30.9	1.75	0.44	0.26	1.19	2.14	0.78	0.87
牧 5	J ₁ s	第三类	侏罗系	82.36	8.18	6.82	2.64	-27.6	4.00	0.48	0.10	1.20	2.57	0.84	0.90

注: R_c 为根据原油芳烃甲基非指数 (MPI, Radke et al., 1983; Radke, 1987) 计算的镜质组反射率。

表 2 典型原油、人工混合原油及彩南油田原油地球化学参数表

Table 2 Geochemical parameters of the typical oils, artificial mixing samples and Cainan oils

样号	P (%)	T (%)	J (%)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{oil}}$ (‰)	Pr/Ph	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Mix-1	0	100	0	-30.9	1.75	4.40	0.36	0.27	0.58	2.84	0.74	0.26	0.09	0.17	0.47	0.79	0.31	0.58	0.46	0.34
Mix-2	20	80	0	-30.9	1.79	6.22	0.27	0.29	0.59	1.34	0.41	0.17	0.13	0.28	0.40	0.68	0.28	0.65	0.54	0.29
Mix-3	40	60	0	-30.9	1.76	7.61	0.21	0.30	0.64	0.86	0.27	0.13	0.14	0.33	0.35	0.46	0.24	0.70	0.61	0.27
Mix-4	60	40	0	-30.9	1.78	9.24	0.19	0.31	0.63	0.63	0.21	0.10	0.15	0.38	0.33	0.38	0.23	0.75	0.68	0.25
Mix-5	80	20	0	-30.8	1.76	11.20	0.17	0.32	0.65	0.50	0.16	0.08	0.18	0.44	0.31	0.35	0.22	0.78	0.74	0.23
Mix-6	100	0	0	-30.8	1.74	12.82	0.16	0.33	0.65	0.42	0.13	0.06	0.19	0.49	0.30	0.28	0.22	0.81	0.81	0.22
Mix-7	80	0	20	-30.1	2.04	8.75	0.20	0.31	0.71	0.41	0.14	0.06	0.17	0.43	0.30	0.28	0.22	0.75	0.75	0.22
Mix-8	60	0	40	-29.5	2.43	5.51	0.26	0.28	0.76	0.40	0.13	0.08	0.16	0.38	0.31	0.35	0.21	0.71	0.70	0.22
Mix-9	40	0	60	-28.9	2.90	3.38	0.35	0.23	0.93	0.40	0.14	0.08	0.14	0.31	0.33	0.42	0.21	0.64	0.61	0.22
Mix-10	20	0	80	-28.2	3.39	1.79	0.65	0.18	1.30	0.39	0.15	0.10	0.10	0.19	0.36	0.50	0.20	0.52	0.48	0.23
Mix-11	0	0	100	-27.4	4.00	0.26	3.01	0.09	2.96	0.38	0.14	0.13	0.03	0.04	0.40	0.66	0.18	0.30	0.19	0.24
Mix-12	0	20	80	-28.3	3.35	0.49	1.79	0.13	2.29	0.60	0.21	0.15	0.03	0.05	0.42	0.70	0.22	0.33	0.20	0.26
Mix-13	0	40	60	-28.9	2.95	1.09	1.10	0.16	1.29	0.95	0.31	0.17	0.04	0.07	0.43	0.74	0.22	0.40	0.29	0.29
Mix-14	0	60	40	-29.7	2.51	1.71	0.72	0.20	1.00	1.32	0.43	0.20	0.05	0.09	0.44	0.76	0.30	0.44	0.31	0.32
Mix-15	0	80	20	-30.3	2.14	2.78	0.52	0.25	0.81	1.91	0.58	0.23	0.07	0.12	0.46	0.79	0.26	0.49	0.38	0.34
Mix-16	20	60	20	-30.2	2.06	3.83	0.36	0.27	0.71	1.00	0.31	0.15	0.12	0.26	0.39	0.79	0.23	0.57	0.49	0.28
Mix-17	40	40	20	-30.3	2.10	5.23	0.25	0.28	0.70	0.69	0.22	0.12	0.14	0.33	0.35	0.61	0.22	0.64	0.55	0.25
Mix-18	60	20	20	-30.0	2.08	6.95	0.23	0.29	0.71	0.50	0.17	0.08	0.15	0.37	0.32	0.48	0.22	0.72	0.71	0.23
Mix-19	40	20	40	-29.6	2.42	4.20	0.33	0.27	0.82	0.52	0.17	0.09	0.14	0.32	0.34	0.38	0.20	0.62	0.53	0.24
Mix-20	20	20	60	-28.9	2.88	2.20	0.53	0.22	1.00	0.56	0.18	0.12	0.10	0.20	0.37	0.44	0.19	0.52	0.42	0.25
Mix-21	20	40	40	-29.5	2.59	2.82	0.43	0.25	0.92	0.72	0.25	0.13	0.12	0.25	0.37	0.54	0.21	0.55	0.46	0.27
彩南	最小值			-29.0	2.33	0.92	0.38	0.07	0.98	0.43	0.13	0.06	0.04	0.07	0.38	0.58	0.13	0.35	0.22	0.20
	最大值			-28.5	2.87	4.26	0.92	0.33	2.76	1.05	0.23	0.18	0.09	0.20	0.54	0.42	0.32	0.48	0.41	0.37
	平均值			-28.7	2.56	2.31	0.60	0.17	1.56	0.73	0.19	0.13	0.07	0.11	0.45	0.39	0.21	0.41	0.28	0.26

注: P—典型二叠系原油百分含量; T—典型三叠系原油百分含量; J—典型侏罗系原油百分含量; $\delta^{13}\text{C}_{\text{oil}}$ —全油碳同位素 (‰, PDB); B— β -胡萝卜素/nC₂₅ $\times 100\%$; C—三环萜烷 C₁₉/C₂₁; D—C_{19~26}三环萜烷/17 α (H)-C_{27~35}藿烷; E—C₂₄四环萜烷/C₂₆三环萜烷; F—Ts/Tm; G—C₂₉Ts/17 α (H)-C₂₉藿烷; H—C₃₀重排藿烷/17 α (H)-C₃₀藿烷; I—伽马蜡烷/17 α (H)-C₃₀藿烷; J—伽马蜡烷/17 α (H)-C₃₁藿烷 (20S+20R); K—C_{31~35}藿烷/C_{27~35}藿烷; L—C₂₉重排藿烷/C₂₉规则藿烷; M—藿烷 C₂₇/C₂₉; N—藿烷 C₂₈/C₂₉; O—藿烷 20R C₂₈/C₂₉; P—藿烷/萜烷。

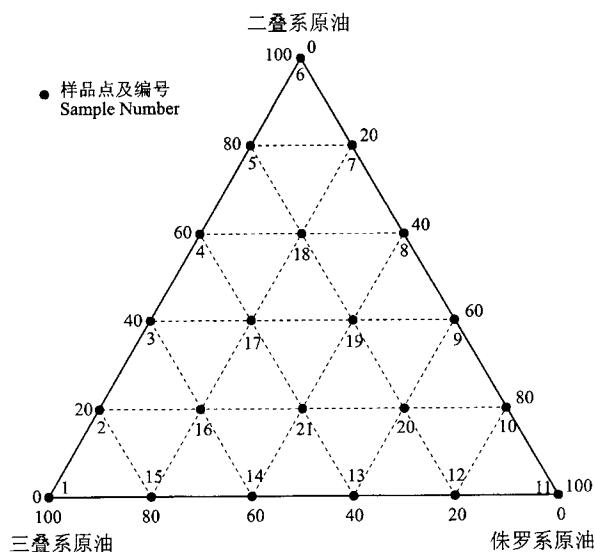


图 2 典型原油人工混合实验样品配比分布三角图

Fig. 2 Ternary diagram showing the proportion and location of the artificially mixed samples

性石英毛细柱,长30m,内径0.25mm。样品通过分流阀接入色谱,气化室温度320℃,载气 He,柱前压30 psi ($20.68 \times 10^4 \text{ Pa}$)。色谱初始温度70℃,保持5min后以4℃/min 升温速率升温到240℃,然后再以2℃/min 升温速率升温到300℃,并在此温度保持30min。传输杆温度250℃,离子源温度200℃,离子化方式为70eV 电子轰击,发射电流200 μA 。GC-MS 分析一般采用多离子扫描方式,少数样品同时也采用了全扫描方式,全扫描质量范围为 m/z 50~600,扫描周期2s。生物标志物绝对含量的定量标样为 $\text{D}_4\text{-}\alpha\alpha\alpha\text{-C}_{27}$ 甾烷。

2 人工混合原油的地球化学特征变化

2.1 稳定碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化

由于二叠系和三叠系原油碳同位素组成比较相似,而且 $\delta^{13}\text{C}$ 值均小于彩南油田原油,理论上二者混合不可能形成碳同位素与彩南油田原油相同的混合油。人工混合原油样品全油碳同位素分析表明,这两类典型原油人工混合形成的原油全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化不大,始终低于彩南油田原油的全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值(表2),表明二叠系和三叠系原油的混合确实不能形成彩南油田原油。

侏罗系原油的全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值明显高

于二叠系、三叠系和彩南油田原油的该值,随着侏罗系原油在人工混合原油中比例的增加,全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈线性增加(图3),而且侏罗系原油与二叠系原油或三叠系原油相混合时的变化相当一致,均可以达到彩南油田原油的碳同位素比值。实验结果表明,无论侏罗系原油是与二叠系原油混合还是与三叠系原油混合,彩南油田原油中侏罗系烃源岩的贡献占55%~70%,平均约为60%左右。人工混合配比实验还表明,以原油全油碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值和一元线性方程计算混合原油的混合比例是可行的。

2.2 类异戊二烯烷烃 Pr/Ph 值变化

混合原油的全油和饱和烃色谱分析表明,由于二叠系、三叠系、侏罗系原油中类异戊二烯烷烃的含量不一样,随着侏罗系原油混入比例的不同,Pr/Ph 值不是呈线性变化,而是呈现类似对数的关系变化(图4),且侏罗系原油与二叠系和三叠系原油混合时的变化趋势也相当一致。由图4可见,无论侏罗系原油与二叠系原油混合还是与三叠系原油混合,按照彩南油田原油的平均 Pr/Ph 值,侏罗系烃源岩的贡献约为46%左右。值得特别指出的是,姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)含量的相对比值(即 Pr/Ph 值)随混入量的变化是非线性的,由下面的讨论还可以看到,甾烷、萜烷等生物标志物的相对比值随混入量的变化也是非线性的,因此不能用生物标志物的相对比值代入简单的一元线性方程计算混合原油的混合

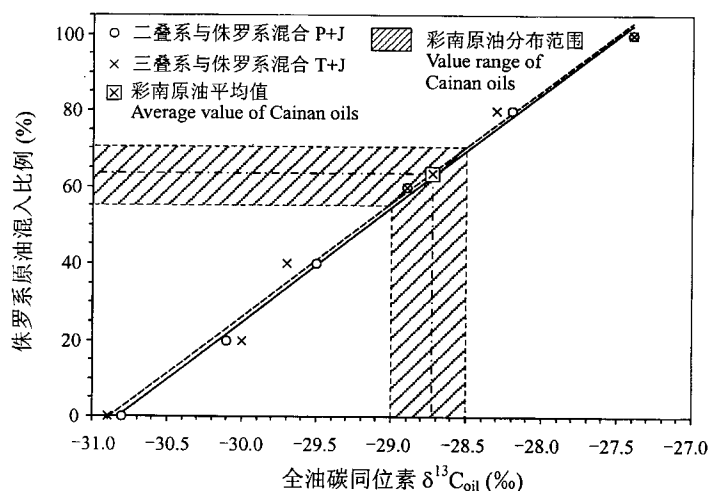


图 3 混油模拟实验侏罗系原油混入比例与全油碳同位素组成变化关系图

Fig. 3 Mixing proportions of Jurassic oil vs the whole-oil carbon isotope ratio in artificial mixtures of typical oils (Permian—Jurassic, and Triassic—Jurassic)

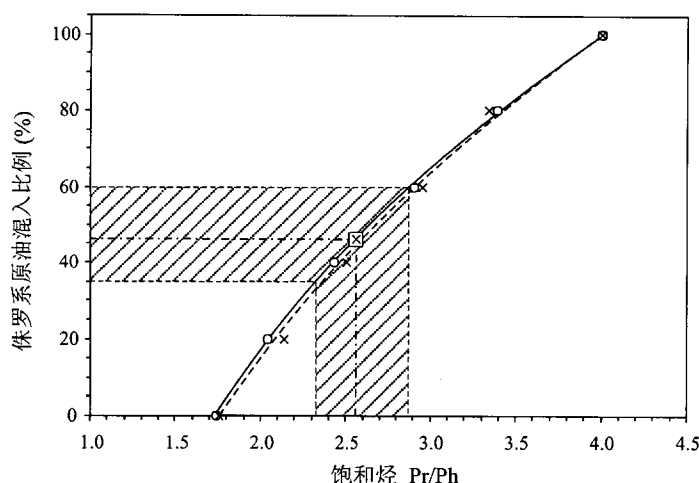


图4 混油模拟实验侏罗系原油混入比例与饱和烃色谱 Pr/Ph 变化关系图(图例同图3)

Fig. 4 Mixing proportion of Jurassic oil vs the Pr/Ph ratio of saturated hydrocarbons in artificial mixtures of typical oils (Permian—Jurassic, and Triassic—Jurassic) (the legends same as in Fig. 3)

比例。

2.3 β -胡萝卜素含量变化

典型二叠系原油中 β -胡萝卜素/ nC_{25} 值为

12.8%, 典型三叠系原油为4.4%, 典型侏罗系原油为0.26%, 彩南油田原油该比值为0.91%~4.26%, 平均2.31%。显然, 二叠系和三叠系原油的混合不能形成彩南油田的原油。由图5可见, 随着侏罗系原油混入量的增加, 该比值有规律地降低, 但也是非线性的。若二叠系原油与侏罗系原油混合, 则侏罗系原油需占50%以上才能使该比值达到4%以下, 在70%以上才能达到彩南油田原油的平均值。另一方面, 当三叠系原油与侏罗系混合时, 不管按什么比例混合该比值基本上均在彩南油田原油的范围内。虽然在混合油中侏罗系原油占30%时就可使该比值达到彩南原油的平均值, 但并不能说彩南原油可以主要来源于三叠系, 因为在这样的混合比例下其他地球化学参数就会出现矛盾。例如, 碳同位素组成, 由于三叠系原油碳同位素较轻, 若没有足够量的侏罗系原油的混入, 混

合原油的碳同位素将低于彩南油田原油的最低值。显然, 没有 β -胡萝卜素含量高、碳同位素组成比较轻的原油参与而仅仅由三叠系原油与侏罗系原油的混合同样不能形成现今的彩南油田原油。

2.4 萜烷和甾烷类生物标志物分布变化

二叠系、三叠系和侏罗系三类典型原油中生物标志物的分布有较大差异, 因此按一定比例混合形成的原油中萜烷、甾烷类生物标志物的含量和分布也呈现有规律的变化。

在二叠系和三叠系原油中, C_{19} 三环萜烷的含量远低于 C_{21} 三环萜烷, C_{24} 四环萜烷相对于 C_{26} 三环萜烷也较低。不管这两类原油以什么比例混合, C_{19} 三环萜烷含量仍然保持低丰度, 与 C_{21} 三环萜烷的比值在0.16~0.36之间变化, 始终小于彩南油田原油的最小值0.38(表2)。 C_{24} 四环萜烷与 C_{26} 三环萜烷的比值也在0.58~0.65之间变化, 也始终小于彩南油田原油的最小值0.98(表2)。在甾烷分布中, 二叠系和三叠系原油 C_{28} 和 C_{29} 甾烷含量又相对比较高, 其中 C_{28} 甾烷/ C_{29} 甾烷值在0.58~0.81之间, 均高于彩南油田原油的最高值0.48。显然, 生物标志物分布也

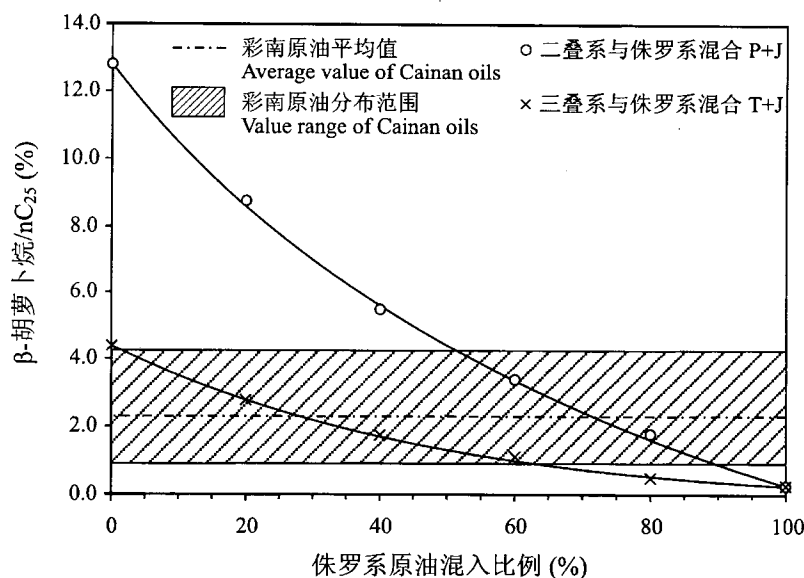


图5 混油模拟实验侏罗系原油混入比例与 β -胡萝卜素/ nC_{25} 值关系图

Fig. 5 Mixing proportion of Jurassic oil vs the β -carotane/ nC_{25} ratio of saturated hydrocarbon in artificial mixtures of typical oils (Permian—Jurassic, and Triassic—Jurassic)

β -胡萝卜素的含量来自 m/z 125 质量色谱图, C_{25} 正构烷烃含量来自总离子流色谱图
The β -carotane content was determined from the m/z 125 mass chromatogram, while the nC_{25} content was determined from the TIC

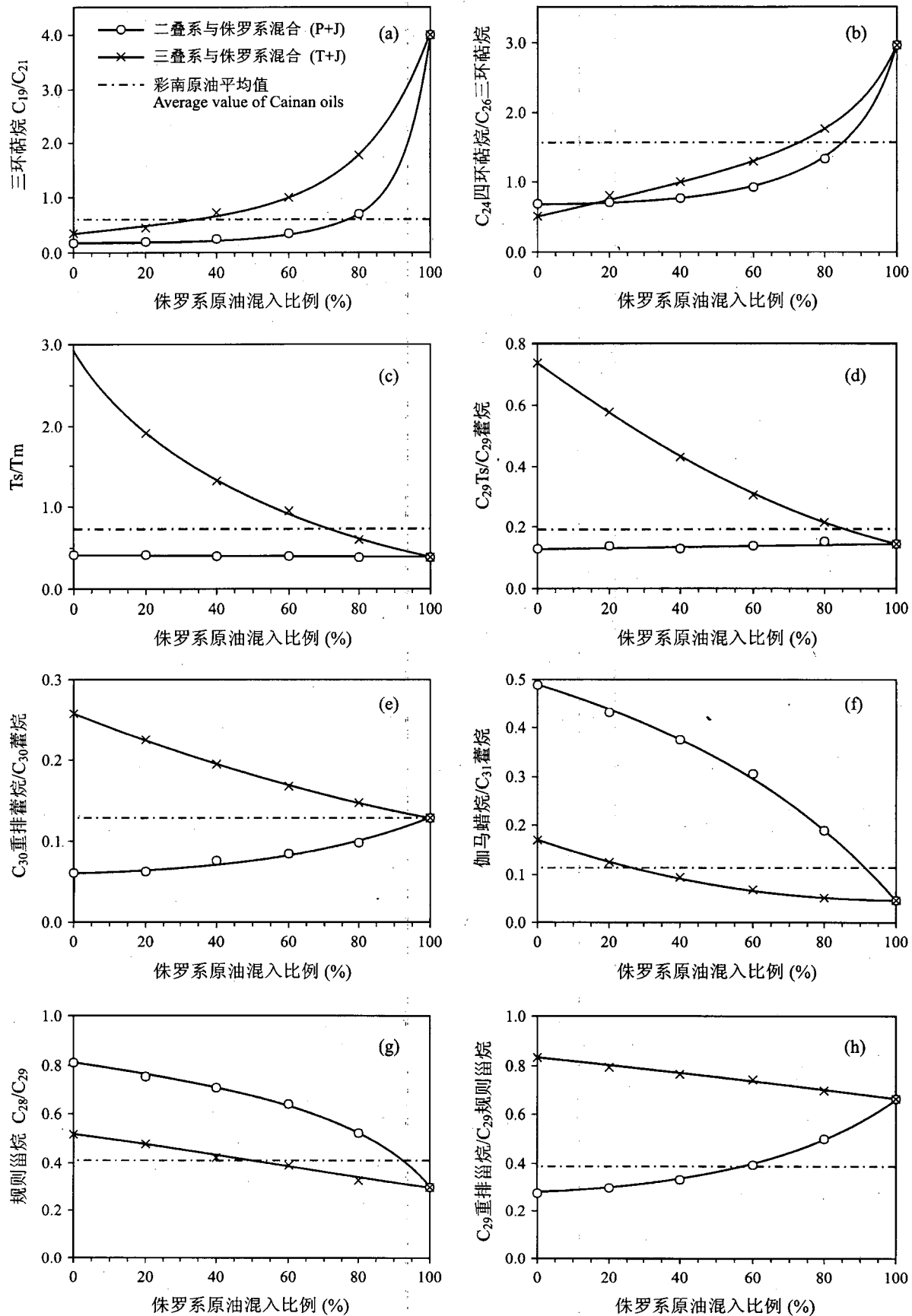


图 6 各种生物标志物参数随人工混合油中侏罗系原油比例的变化图

Fig. 6 Changes of eight biomarker parameters with variable mixing proportions of Jurassic, Permian and Triassic oil

表明二叠系原油和三叠系原油混合不能形成彩南油田原油。

当侏罗系原油与二叠系原油相混合时,随着侏罗系原油比例的增加, C_{19} 三环萜烷、 C_{24} 四环萜烷、 C_{30} 重排藿烷、 C_{31} 以上萜烷和重排甾烷的相对含量逐渐增加,伽马蜡烷和 C_{28} 甾烷的含量逐渐降低,而Ts、Tm和 C_{29} Ts的相对含量变化较小。由图6可见,侏罗系原油混入比例低于60%, C_{19} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷这两个化合物的相对含量增加幅度很小,相应的比值增加也较小(图6a、b);当侏罗系原油的混入量达到80%以上时, C_{19} 三环萜烷和 C_{24} 四环萜烷这两个化合物的相对含量迅速增加,而 C_{21} 、 C_{23} 三环萜烷的相对含量迅速降低,相应的比值达到和超过彩南油田原油的平均值;伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷和 C_{28} 甾烷/ C_{29} 甾烷等比值在侏罗系原油混入量>90%时才达到彩南油田原油相应比值的平均值(图6f、g)。另一方面,如果侏罗系原油的混入量超过70%,那么混合原油的碳同位素又将高于彩南油田原油,这又限定侏罗系原油的混入量不能太高。此外,无论侏罗系原油的比例占多少,Ts/Tm、 C_{29} Ts/ C_{29} 藿烷和 C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值始终低于彩南油田原油相应比值的平均值(图6c、d、e),甚至低于最小值。这表明仅仅由二叠系和侏罗系原油混合仍然不可能形成彩南油田原油,必须有Ts、 C_{29} Ts、 C_{30} 重排藿烷高含量的原油参与混合。三叠系原油恰好含有高的Ts、 C_{29} Ts、 C_{30} 重排藿烷。

当侏罗系原油与三叠系原油相混合时,随着侏罗系原油比例的增加, C_{19} 三环萜烷、 C_{24} 四环萜烷的含量相对增加, C_{21} 、 C_{23} 和 C_{24} 三环萜烷、Ts、 C_{29} Ts、 C_{30} 重排藿烷、 C_{27} 重排甾烷含量明显降低,伽马蜡烷、 C_{28} 甾烷等略有降低。其中侏罗系原油混入比例在30%左右时, C_{19} 三环萜烷/ C_{21} 三环萜烷和伽马蜡烷/ C_{31} 藿烷值即可与彩南油田原油平均值相似(图6a、f);在70%以上时即可使 C_{24} 四环萜烷/ C_{26} 三环萜烷和Ts/Tm值达到彩南油田原油平均值(图6b、c);当侏罗系原油的混入比例超过80%以后, C_{29} Ts/ C_{29} 藿烷值才达到彩南油田原油的平均值(图6d);而且,无论三叠系原油混入的比例多大, C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷的值始终大于彩南原油的平均值(图6e)。此外,由于三叠系和侏罗系原油中重排甾烷的相对含量均高,侏罗系和三叠系原油混合时形成的混合油的重排甾烷/规则甾烷值总是远大于彩南油田原油的平均值(图6h),甚至大于其最大值。由此可见,仅仅是侏罗系原油和三叠系原油的混合同样不能形成现今

彩南油田的原油,必须有重排甾烷和 C_{30} 重排藿烷含量低以及 C_{28} 甾烷含量高一些的二叠系原油的参与。

显然,必须由二叠系、三叠系和侏罗系三种原油混合才能形成彩南油田原油。

3 二元、三元混合原油定量判别图版

对于三元混合原油样品,即本文混油模拟实验方案中三角图内部6个原油样品(图2),随着侏罗系、三叠系和二叠系原油混合比例的变化,生物标志物的分布特征也呈现明显的变化,但是各种生物标志物的变化趋势已不能用上述直角坐标方法进行直观的描述和讨论,而三角坐标等值线图可以比较直观地展示三元混合原油各类参数的变化趋势。在三角坐标图中,等值线的走向可以表示各源混入比例的变化,而等值线密度反映参数值的变化幅度。对三个端元典型原油及它们按不同比例混合形成的混合原油的实验分析,可以获得三角坐标图中各种参数的等值线。对于某一个生物标志物或其他地球化学参数而言,相同的含量或比值可以由三个原油按一系列的不同比例混合获得。以参数 C_{19} 三环萜烷/ C_{21} 三环萜烷值=0.6为例(图7),它可以由10%的二叠系、50%的三叠系和40%的侏罗系的原油混合获得,也可以由20%的二叠系、17%的三叠系和63%侏罗系的原油等一系列比例混合获得。随着侏罗系原油混入比例的增加,比值逐渐增大,而且等值线密度逐渐增密,表明比值增大的幅度加大。其他各种参数也可以用类似的三角坐标图来表示它们的变化。

显然,在三角坐标图中,一个参数不能确定二叠系、三叠系和侏罗系原油各自对彩南油田原油的贡献。然而,由于在三个端元原油中各类生物标志物的含量不同,当它们以不同比例混合时,各参数增大或者减小的变化趋势和变化幅度各不相同。因此,通过两个或者两个以上不同参数交汇可以确定各端元原油混入量。

4 彩南油田混合原油油源定量判别

如图7所示,由于三叠系原油中Ts、 C_{29} Ts的含量很高,而二叠系和侏罗系原油中该类标志物含量比较低,随着三叠系原油混入量的增加, C_{29} Ts/ C_{29} 藿烷值向三叠系原油端元增大。另一方面,侏罗系原油富含 C_{19} 三环萜烷而 C_{21} 三环萜烷相对较低,因此,随着侏罗系原油混入量的增加, C_{19} 三环萜烷/ C_{21} 三环萜烷值向侏罗系原油端元增大。同样,由于侏罗系原油全油碳同位素明显高于二叠系和三叠系原油,

随着侏罗系原油混入量增加,全油碳同位素比值向侏罗系原油端元增高。而且,虽然 C_{19} 三环萜烷/ C_{21} 三环萜烷值和全油碳同位素比值均向侏罗系端元增高,但是由于这两个参数在二叠系和三叠系原油中又各不相同,比值变化分布趋势又有差异,即两参数的等值线也相交,也可以确定三类原油各自的混入量。

以全油碳同位素、 C_{19} 三环萜烷/ C_{21} 三环萜烷和 $C_{29}Ts/C_{29}$ 藿烷三个参数为例,彩南油田原油这三个参数的平均值分别为 -28.73% 、 0.60 和 0.19 (表2),根据三个参数的变化趋势和交汇情况(图7),彩南油田原油中侏罗系原油的平均混入比例为65%左右,三叠系原油的平均混入比例为15%左右,二叠系原油的平均混入比例为20%左右。

实际上,彩南油田原油的这些参数均分布在某一范围内(表2),根据这三个参数的变化范围,可以确定出二叠系、三叠系和侏罗系对彩南油田原油的贡献范围,如图7中的阴影区域,其中,侏罗系原油的贡献占55%~70%,三叠系原油和二叠系原油均为10%~30%。人工混合的20号原油样品在该区域内,

该样品的甾烷和萜烷的分布特征也最接近彩南油田东块原油(图8)。由此可见,彩南油田原油主要来源于侏罗系烃源岩,二叠系和三叠系是次要烃源岩且两者的贡献基本差不多。

值得特别指出的是,虽然生物标志物在原油中仅占非常小的比例,但其分布特征可以反映原油的来源,这是应用生物标志物进行油源对比的基础。人工混合油中生物标志物参数所反映的混合比例与体现原油主要组分特征的全油碳同位素组成反映的混合比例基本一致,表明以生物标志物含量来判断混源油中各类烃源岩的贡献比例也是可行的。

5 结论

典型原油的人工三元混合模拟实验结果显示,彩南油田原油是由二叠系、三叠系和侏罗系来源的三种不同类型原油混合而成,其中的任何两种原油混合均不能形成目前彩南油田原油。而且,混源原油的全油碳同位素比值与混入比例呈线性变化,而生物标志物相对比值参数与混入比例常常呈非线性变

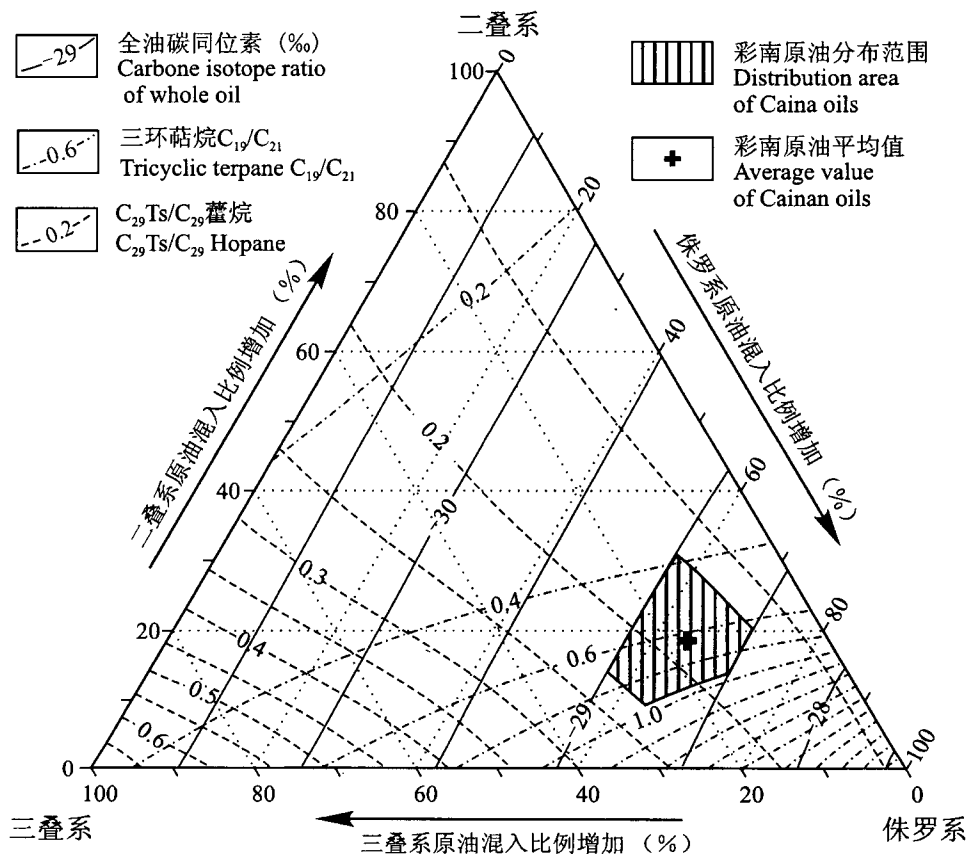


图7 三元混合原油定量判别图版及彩南油田原油构成图

Fig. 7 Ternary diagram showing the contributions of Permian, Triassic and Jurassic oils to the Cainan mixed oil

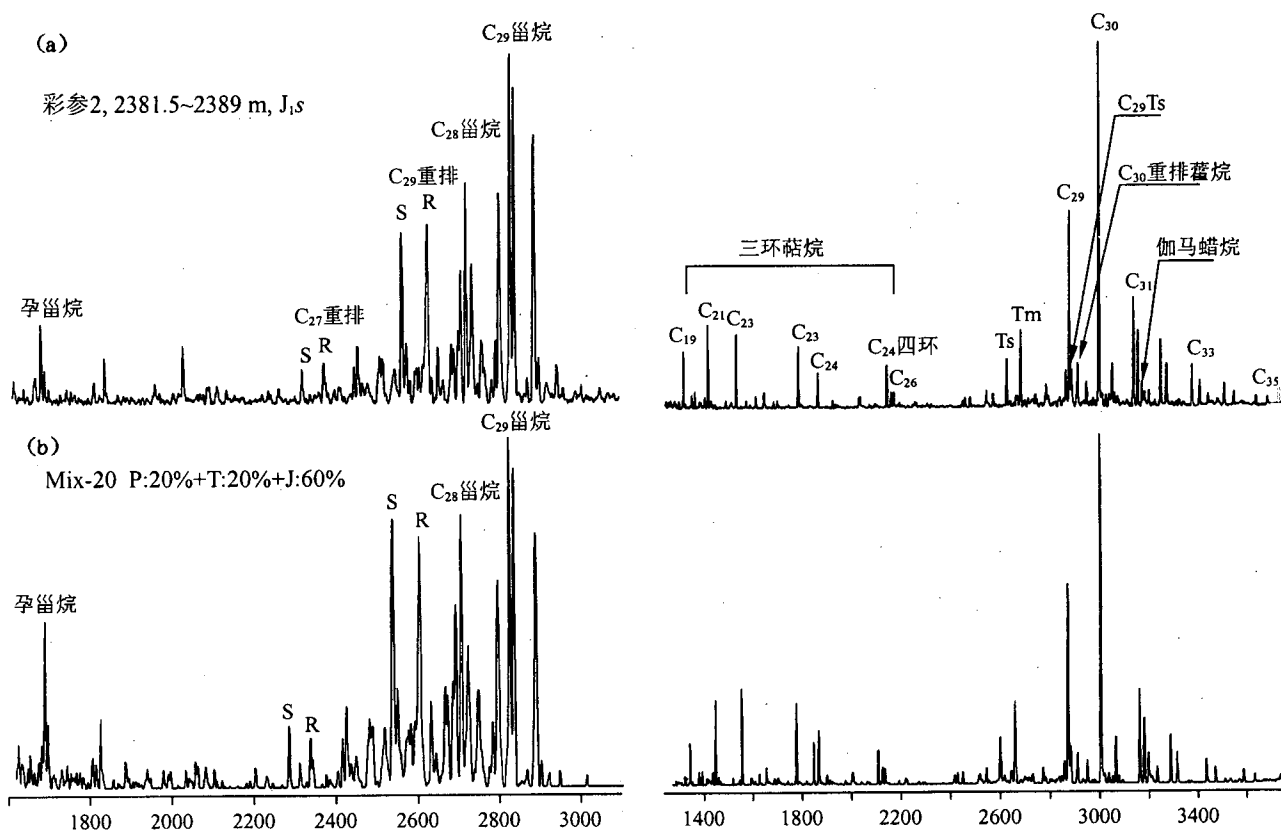


图8 人工三元混合原油(二叠系20%,三叠系20%,侏罗系60%)(b)与彩南油田东块原油(a)甾烷和萜烷分布对比图

Fig. 8 A comparison of steranes and terpanes between the artificial mixing oil (Permian 20%, Triassic 20% and Jurassic 60%) (b) and the oil from Cainan oilfield (a)

化。因此,采用简单的一元线性方程和全油碳同位素比值可以计算二元混合原油的混合比例,而以生物标志物相对比值和简单的一元线性方程计算混源油中各烃源岩的贡献则常常会导致错误的结果。多参数图版法是一种较好的判断混源油混合比例的方法。根据多参数图版法判别,彩南油田东块原油中侏罗系烃源岩的贡献平均为65%左右,三叠系为15%左右,二叠系为20%左右,按照彩南油田原油全油碳同位素以及各类生物标志物参数的分布范围判别,彩南油田原油中侏罗系烃源岩的贡献为55%~70%之间,三叠系和二叠系均为10%~30%之间。

致谢:感谢中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司研究院同意发表本文,同时感谢张义杰博士、况军博士、吴晓智博士、马建壁工程师等在样品采集等方面提供了许多有益的帮助。感谢王培荣教授在饱和烃色谱和生物标志物定量分析方面的指导和帮助。

注 释

- ① 杨斌,贺晓苏,李建新,尤绮妹,余亮平,王绪龙. 1991. 准噶尔盆地油气形成与分布规律. 新疆石油管理局研究院研究报告.
- ② 敖林. 1992. 彩参2井生油岩评价及油源探讨. 新疆石油管理局研究报告.
- ③ 李新兵,靳涛,王俊槐,汪建富. 2000. 准噶尔盆地东部阜康凹陷含油气系统研究. 新疆油田公司勘探开发研究院研究报告.
- ④ 张义杰,贾希玉,吴晓智,齐雪峰,翁宁,陈江新. 1999. 准噶尔盆地侏罗系石油地质综合研究及勘探目标选择. 新疆石油管理局勘探开发研究院研究报告.
- ⑤ 石新璞,吴晓智,李新兵. 1999. 准噶尔盆地东部1999年勘探成果认识及2000年勘探目标选择. 新疆油田公司2000年勘探技术座谈会发言材料集. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院(内部资料),130~147.
- ⑥ 康永尚,王飞宇等. 2001. 彩南油田油气藏成藏史研究. 新疆石油管理局研究报告.
- ⑦ 陈建平,梁狄刚,宋孚庆,罗健,钟宁宁,王传刚,等. 2001. 准噶尔盆地东部地区彩南油田及其外围油源精细对比. 中国石油天然气集团公司油气地球化学重点实验室研究报告.

参 考 文 献

- 陈建平,梁狄刚,王绪龙等. 2003. 准噶尔盆地东部彩南油田多源混合原油的油源. 石油勘探与开发,30(4):20~24.

- 丁安娜, 孟仟祥, 惠荣耀. 1997. 准噶尔盆地彩南油田油源研究. 新疆石油地质, 18(4): 324~329.
- 李建新, 杨斌. 1992. 准噶尔盆地煤成油的地球化学特征与侏罗系煤系的含油远景. 见: 罗斌杰等主编. 准噶尔盆地油气地质综合研究. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 97~109.
- 王绪龙, 康素芳. 1999. 准噶尔盆地腹部及西北缘斜坡区原油成因分析. 新疆石油地质, 20(2): 108~112.
- 王屿涛. 1994. 从澳大利亚煤成烃条件探讨准噶尔盆地煤成烃问题. 新疆石油地质, 15(2): 136~141.

References

- Chen Jianping, Liang Digang, Wang Xulong, et al. 2003. Oil-source identification for the mixed oils derived from multiple source rocks in the Cainan oilfield, Junggar Basin, Northwest China. Petroleum Exploration and Development, 30(4): 20~24 (in Chinese with English abstract).
- Ding Anna, Meng Qianxiang, Hui Rongyao. 1997. Study on oil source in Cainan oilfield, Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 18(4): 324~329 (in Chinese with English abstract).
- Dzou L I, Holba A G, Ramon J C, Moldowan J M, Zinniker D. 1999. Application of new diterpane biomarkers to source, biodegradation and mixing effects on Central Llanos Basin oils, Colombia. Organic Geochemistry, 30(7): 515~534.
- Isaksen G H, Patience R, van Graas G, Jenssen A I. 2002. Hydrocarbon system analysis in a rift basin with mixed marine and nonmarine source rocks: The South Viking Graben, North Sea. AAPG Bull., 86(4): 557~591.
- Li Jianxin, Yang Bin. 1992. The geochemical properties of coal-derived oil and the oil-bearing prospect in the Jurassic coal-bearing strata in the Junggar basin. In: Luo Binjie ed. A Comprehensive Study of Petroleum Geology in the Junggar Basin. Gansu Publishing House of Science and Technology, Lanzhou, 97~109 (in Chinese).
- Peters K E, Moldowan J M, Driscoll A R, Demaison G J. 1989. Origin of Beatrice oil by co-sourcing from Devonian and Middle Jurassic source rocks, Inner Moray Firth, U K. AAPG Bull., 73: 454~471.
- Peters K E, Clutson M J, Robertson G. 1999. Mixed marine and lacustrine input to an oil-cemented sandstone breccia from Brora, Scotland. Organic Geochemistry, 30(4): 237~248.
- Radke M, Welte D H. 1983. The methylphenanthrene index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. In: Bjoroy M, et al., ed. Advances in Organic Geochemistry 1981. J Wiley and Sons, New York, 504~512.
- Radke M. 1987. Organic geochemistry of aromatic hydrocarbons. In: Brooks J, Welte D, ed. Advances in Petroleum Geochemistry, 2. Academic Press, London, 141~207.
- Wang Xulong, Kang Sufang. 1999. Analysis of crude oil origin in hinterland and slope of northwest margin, Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 20(2): 108~112 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yutao. 1994. Discussion on coal-formed hydrocarbons in the Junggar Basin correlated with their conditions in Australia. Xinjiang Petroleum Geology, 15(2): 136~141 (in Chinese with English abstract).

Quantification of Mixed Oil Derived from Multiple Source Rocks: a Typical Case Study of the Cainan Oilfield in the East Junggar Basin, Northwest China

CHEN Jianping^{1,2,3)}, DENG Chunping^{1,2)}, LIANG Digang^{1,2)}, WANG Xulong⁴⁾, SONG Fuqing^{1,2)}, XUE Xinke⁴⁾, JIN Tao⁴⁾, ZHONG Ningning^{2,5)}

1) Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing, 100083

2) Key Laboratory of Petroleum Geochemistry of CNPC, Beijing, 100083

3) Key Laboratory of Coal Resources, the Ministry of Education, Beijing, 100083

4) Xinjiang Oil Field Company of PetroChina, Karamay, Xinjiang, 834000

5) Petroleum University, Changping, Beijing, 102200

Abstract

The crude oil in the Cainan field is a mixture of hydrocarbons of Permian, Triassic and Jurassic source rocks. Artificial mixing of three typical Permian, Triassic and Jurassic oils in the laboratory indicates that the whole-oil carbon isotope ratio $\delta^{13}\text{C}$ of the artificially mixed oil samples changes linearly with the mixing proportions, but the Pr/Ph ratio, β -carotane/ n -C₂₅ ratio, and various biomarker ratios in the mixture change non-linearly. The ternary plate created by the artificial mixing of the three typical oils shows that the average contribution of the Jurassic source rocks is 65%, whereas those of the Triassic and Permian source rocks are around 15% and 20%, respectively. In summary, based on the whole-oil stable carbon isotope ratios and biomarker parameters it can be concluded that the Jurassic source makes a contribution of 55%~70%, while the Triassic and Permian sources each contribute by 10%~30%.

Key words: mixed oil; artificial mixing experiment; carbon isotope; biomarker; Jurassic; Triassic; Permian; Junggar Basin; Cainan oilfield