

文章编号:1000-0550(2004)04-0689-05

冀中拗陷苏桥—文安地区混源油定量识别模式研究 —典型原油混合实验及混源油识别模式

梁宏斌^{1,2} 张敏³ 王东良² 孟凡成⁴ 朱翠山³ 冯敏³

1(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)2(华北油田分公司勘探开发研究院 河北任丘 062552)

3(长江大学地球化学系 湖北荆州 434023)4(华北油田采油一厂 河北任丘 062552)

摘要 通过典型原油混合实验及其产物的地球化学剖析,揭示当煤成油和下第三系原油混合时,随着下第三系原油的增加,C₁₉三环萜烷,C₂₄四环萜烷,C₃₀重排藿烷,C₂₉甾烷和重排甾烷逐渐变小;而姥鲛烷和植烷,伽马蜡烷和C₂₇甾烷含量则逐渐增加。利用饱和烃生物标志物和芳烃化合物绝对浓度的变化规律,建立了冀中拗陷苏桥—文安地区混源油定量识别模式图版。根据混源油识别的模式,判断苏49井的混源油是由10%的下第三系原油和90%的煤成油混合而成;相反文102-1井混源油则是由90%的下第三系原油和10%的煤成油混合而成。

关键词 识别模式 混源油 煤成油 下第三系原油 冀中拗陷

第一作者简介 梁宏斌 男 1963年出生 博士 高级工程师 石油地质学与有机地球化学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

1 引言

混源油气的定量研究是一个具有重要理论研究和实际勘探意义的领域。然而,国内外有关这方面的研究还相当薄弱,总体上处于刚刚起步阶段^[1~4]。Peters对英国北海Inner Moray Firth区域Beatrice油田原油和烃源岩萜烷和甾烷的分布特征剖析,确定了该原油是来自泥盆系和中侏罗统源岩的混合原油,率先提出了利用碳同位素方法计算混源油中两类源岩的大致贡献,揭开了混源油研究的新篇章^[1]。Peters等利用24-正丙基胆甾烷、-胡萝卜烷、25-降藿烷以及24-或27-建胆甾烷等生物标志物,从微观上阐述苏格兰Brora地区油砂碎屑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^[2]。Dzou等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,但没有指出两类源岩各自的贡献比例^[3]。在我国,混源油定量研究开展的稍晚一些,研究成果报道亦很少^[5~6]。

冀中拗陷苏桥—文安地区原油不仅存在煤成油,而且存在由煤成油与下第三系原油混合而成的混源

油,其中煤成油是来自本地区石炭—二叠系煤系烃源岩;而下第三系原油则来自苏桥—文安地区之外的下第三系泥岩。本文是在冀中拗陷苏桥—文安地区原油成因分类及其地球化学特征研究基础上^[7],通过典型端元油的混合配比实验及其地球化学参数的变化规律,建立苏桥—文安地区混源油定量识别模式,希望该项研究成果能裨益于冀中拗陷油气勘探。

2 实验

2.1 端元油配比实验

典型原油混合配比实验的关键性一步是如何选择端元油,一般而言,首先要对研究区已有原油地球化学特征详细剖析,进行原油成因分类及精细的油源对比;其次如研究不同母质来源原油的混合,在选择端元油时还要考虑原油成熟度应相近,避免成熟度对地化参数的影响。另一方面如研究不同成熟度原油之间的混合,则选择母质类型相近的原油作为端元油,以减少有机质类型差异而引起的地化参数变化。就冀中拗陷原油而言,根据已有的研究成果^[7],选择具有典型煤成油特征的苏402井和具有下第三系原油特征的岔33-19井原油作为端元油。将苏402和岔33-19两个端元油,按一定比例混合后再加入异辛烷溶解,在超声波条件下使其混合均匀,待用。

2.2 实验条件

从油井采集的原油样品和人工混合原油样品都进行了全烃色谱、饱和烃色质和芳烃色质等分析测试,分析方法和实验条件见文献[7]。

3 结果与讨论

3.1 混合油的地球化学特征

以煤成油为一个端元油,下第三系原油为一个端元油,按不同比例进行配比混合油。混合油 1 代表 80% 的煤成油和 20% 下第三系原油,混合油 2 代表 60% 的煤成油和 40% 下第三系原油,混合油 3 代表 40% 的煤成油和 60% 下第三系原油,混合油 4 则代表 20% 的煤成油和 80% 下第三系原油。换言之,从混合油 1 到混合油 4,煤成油逐渐减少,下第三系原油则逐渐增加。

3.1.1 姥鲛烷和植烷的变化

表 1 列出了端元油和混合油姥鲛烷和植烷绝对浓度和相对比值,总体而言,混合油中随着下第三系

原油的增加,姥鲛烷和植烷绝对浓度则以线性关系下降;Pr/Ph 比值的变化则以对数关系下降。究其原因,其一是姥鲛烷和植烷的绝对浓度随下第三系原油的增加,增加幅度相对平稳。例如姥鲛烷变化范围在 9.30%~29.50% 之间,植烷变化范围相对较大一点,在 15.79%~69.60% 之间(表 1)。但是,由于 Pr、Ph 变化速率不一致,结果致使 Pr/Ph 比值的幅度差异显著,使得 Pr/Ph 变化范围在 3.77%~133.30% 之间。其二是端元油之间姥鲛烷和植烷绝对含量相差较大,例如,下第三系原油中植烷的含量高出煤成油约 10 倍,因此当有 20% 下第三系原油混入到煤成油之中,Pr/Ph 的比值就下降了 133.33%,Pr/Ph 由 2.24 骤减为 0.96。此后,随下第三系原油由 20% 增加至 100%,Pr/Ph 由 0.96 下降为 0.52,Pr/Ph 的变化率仅为 65.07%。其实,混合油中饱和烃生物标志物和芳烃化合物的变化规律与姥鲛烷和植烷的变化殊途同归。

3.1.2 饱和烃生物标志物分布的变化

表 1 端元油和混合油中姥鲛烷和植烷的绝对含量与相对比值

Table 1 The amounts and ratios of pritan and phytane in end-member oils and mixed oils

井号	深度/m	层位	类型	Pr	Pr	Ph	Ph	Pr/Ph	Pr/Ph
				/($\mu\text{g}/\text{mg}$)	变化率/%	/($\mu\text{g}/\text{mg}$)	变化率/%		
苏 402	4800~4981	O	煤成油	2.82		1.26		2.24	
混合油 1				4.00	29.5	4.15	69.6	0.96	-133.3
混合油 2				4.41	9.3	5.60	25.9	0.79	-21.5
混合油 3				5.20	15.2	7.87	28.8	0.68	-16.2
混合油 4				6.01	13.5	10.88	27.7	0.55	-23.6
盆 33-19	2827.4~2908.6	E ₃ 下	下第三系油	6.78	11.4	12.92	15.8	0.53	-3.8

煤成油和下第三系原油中生物标志物的分布有较大差异。因此,按一定比例进行混合形成的原油萘烷和甾烷含量和分布特征也呈现有规律的变化(图 1,图 2)。当煤成油和下第三系原油混合时,随着下第三系原油的增加,C₁₉三环萘烷,C₂₄四环萘烷,C₃₀重排藿烷,C₂₉甾烷和重排甾烷逐渐变小;而伽马蜡烷,C₂₇甾烷含量逐渐增加。例如混合油 1 是煤成油中混入了 20% 的下第三系原油,从图中明显发现,萘烷分布呈现双重性质。低碳数(C₁₉—C₂₁)三环萘烷的分布呈现煤成油之特征,C₁₉>C₂₀>C₂₁,但高碳数(C₂₃—C₂₄)三环萘烷与煤成油相比又明显增加。此外 C₂₄四环萘烷虽然其含量远不及煤成油,但其丰度仍然较高。另外,C₃₀重排藿烷与煤成油相比明显下降,但伽马蜡烷含量则急剧增加。甾烷特征与下第三系原油特征相似,基本上没有

明显的煤成油特征。混合油 2 是 60% 煤成油和 40% 下第三系原油混合的产物,但萘烷和甾烷分布特征与下第三系原油特征已很相近。那么为什么当混合油中只混入 40% 下第三系原油时,其生物标志物的特征就与之相似?解释这种现象只能用生物标志物绝对含量,煤成油萘烷的含量为 192.06 $\mu\text{g}/\text{g}$,而下第三系原油萘烷含量则高达 3709.06 $\mu\text{g}/\text{g}$,两者相差高达 19 倍;煤成油甾烷的含量仅为 44.41 $\mu\text{g}/\text{g}$,而下第三系原油甾烷的含量则高达 2654.56 $\mu\text{g}/\text{g}$,两者相差近 60 倍。也就是说混合油中虽然下第三系原油占总量可能不高,但由于其萘烷和甾烷的绝对含量高,所以混合油萘烷和甾烷的特征主体上仍与下第三系原油相似。

3.1.3 萘系列化合物含量的变化

煤成油和下第三系原油多环芳烃中萘系列化合物均占明显优势,但这些原油中萘系列化合物的绝对

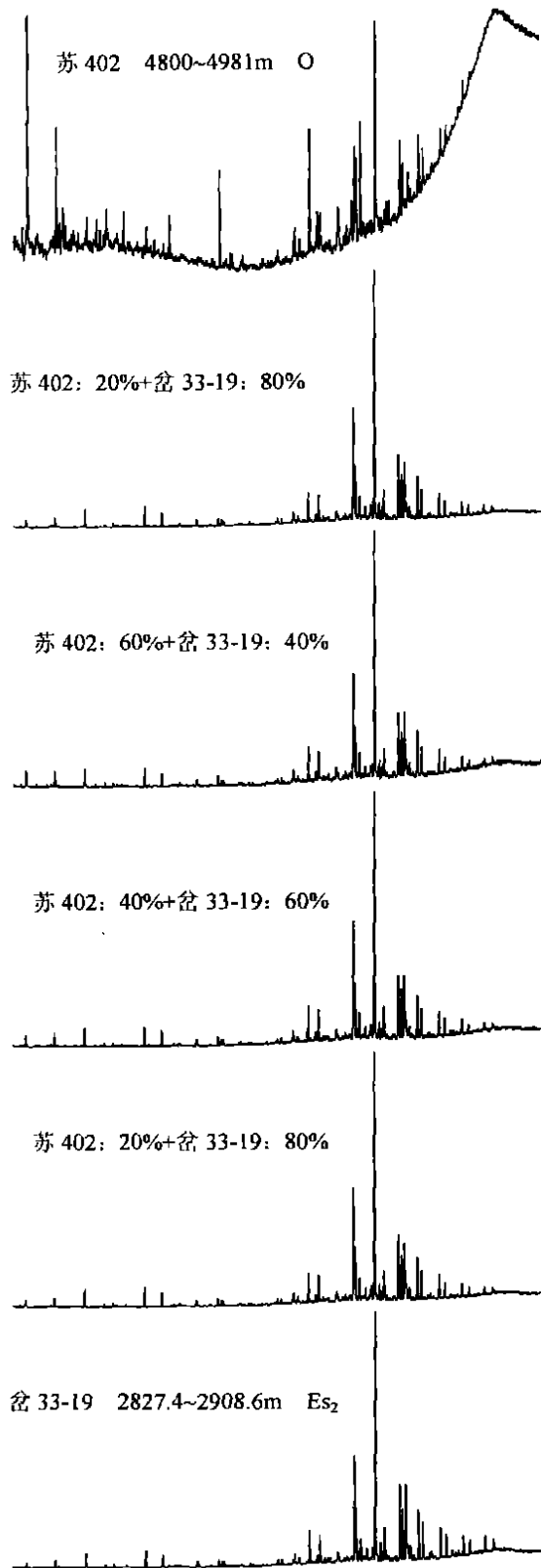


图 1 端元油和混合原油萘烷(m/z 191) 质量色谱图
Fig. 1 Terpanes (m/z 191) distribution of end-member oils and mixed oils

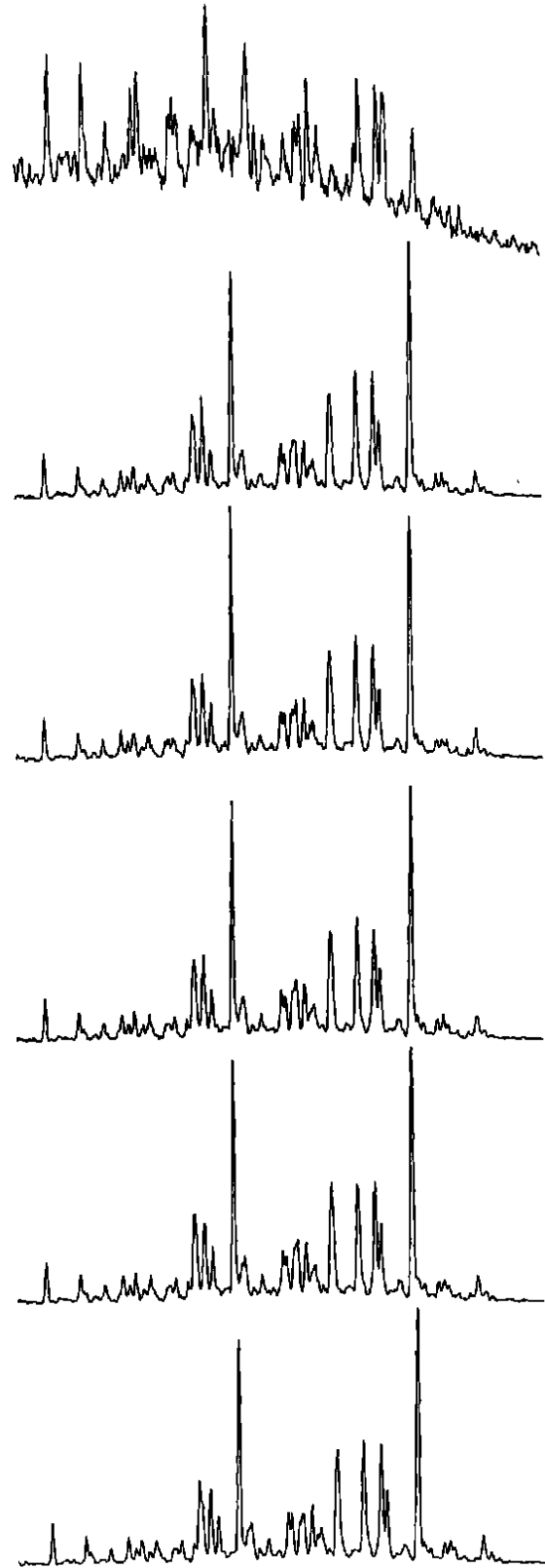


图 2 端元油和混合原油甾烷(m/z 217) 质量色谱图
Fig. 2 Steranes (m/z 217) distribution of end-member oils and mixed oils

表 2 端元油和混合油中萘系列化合物的绝对含量($\mu\text{g/g}$)Table 2 The amounts of naphthalene series in end-member oils and mixed oils($\mu\text{g/g}$)

井号	深度/m	层位	类型	A	B	C	D	E	F	G
苏 402	4800 ~ 4981	O	煤成油	2635.68	3821.33	1624.51	2110.57	1824.96	507.45	569.77
混合油 1				2385.93	3297.05	1515.74	1948.66	1737.60	484.11	504.99
混合油 2				2003.53	2824.36	1317.21	1663.20	1423.17	398.32	476.14
混合油 3				1586.96	1977.77	1031.79	1253.40	909.54	314.90	379.46
混合油 4				1283.18	1488.14	887.54	873.00	739.69	254.43	309.71
岔 33-19	2827.4 ~ 2908.6	Es ₂ 下	下第三系油	912.20	756.87	683.70	504.69	484.30	172.77	243.21

注: A:萘, B:2-甲基萘, C:1-甲基萘, D:2,7+2,6-二甲基萘, E:1,7-二甲基萘, F:1,3,7-三甲萘, G:1,3,6-三甲萘

含量则差异悬殊。煤成油中萘、甲基萘、二甲基萘和三甲萘的绝对含量明显高于下第三系原油,因此当混合油中下第三系原油逐渐增加时,萘系列化合物的含量亦有规律地下降(表 2)。

3.2 混源油的定量识别模式

原油中尽管生物标志物的种类很多,但它们所反映的地质-地球化学意义不尽相同。有的化合物是反映烃源岩母质的固有特征,有的化合物则反映烃源岩有机质的热演化程度。冀中拗陷苏桥-文安地区混源油主要来自不同的烃源岩,因此在选择混源油定量识别参数时,尽量选择与母质类型和沉积环境有关的参数。在系统对比端元油和混合油中类异戊二烯烷烃、饱和烃生物标志物和芳烃化合物地球化学特征时发现原油绝对浓度变化规律性强,作为混源油定量识别模式参数优越性更好。此外还发现端元油之间生物标志物浓度相差越大,配比实验过程中,混合油生物标志物浓度变化规律性越好,实验中的系统误差影响较小。相反,如端元油之间化合物浓度相差不大,混合油中比值变化规律性差,往往不能选择为模式识别参数。

由鉴于此,根据冀中拗陷原油地球化学特征,利用 C_{19-25} 三环萜烷和萘化合物绝对浓度的变化规律,建立了苏桥-文安地区混源油定量识别模式图版(图 3)。同时根据混源油识别的模式,判断苏 49 井的混源油是由 10% 的下第三系原油和 90% 的煤成油混合而成;相反文 102-1 井混源油的则是由 90% 的下第三系原油和 10% 的煤成油混合而成。

4 结论

(1) 煤成油和下第三系原油混合时,随着下第三系原油的增加, C_{19} 三环萜烷, C_{24} 四环萜烷, C_{30} 重排萜烷, C_{29} 甾烷和重排甾烷逐渐变小;而姥鲛烷和植烷的绝对浓度,伽马蜡烷和 C_{27} 甾烷含量逐渐增加。

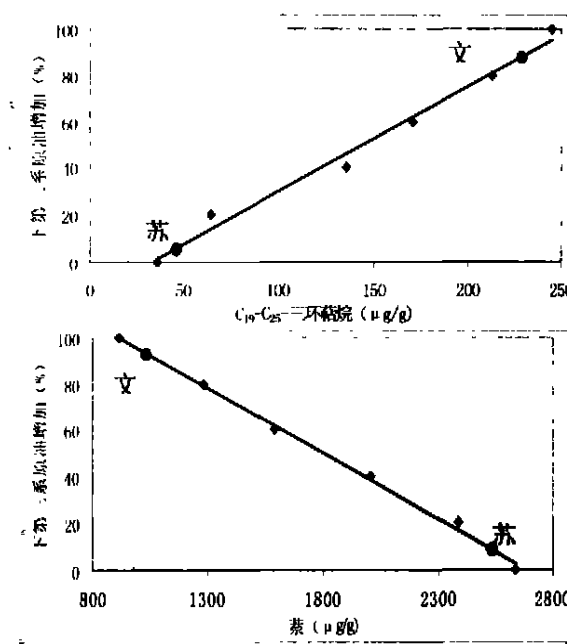


图 3 冀中拗陷苏桥-文安地区混源油定量识别图版

Fig. 3 Quantitative identification model of mixed oils from Suqiao-Wenan area in Jidong Depression

(2) 利用饱和烃生物标志物和芳烃化合物绝对浓度的变化规律,建立了冀中拗陷苏桥-文安地区混源油定量识别模式图版。

(3) 根据混源油识别的模式,判断苏 49 井的混源油是由 10% 的下第三系原油和 90% 的煤成油混合而成;相反文 102-1 井混源油的则是由 90% 的下第三系原油和 10% 的煤成油混合而成。

参考文献 (References)

- Peters K E, Moldovan J M, *et al.* Origin of Beatrice oil by co-sourcing from Devonian and middle Jurassic source rocks, Inner Moray Firth, United Kingdom. AAPG Bulletin, 1989, 73(4): 454 ~ 471
- Peters K E, Mike J, *et al.* Mixed marine and lacustrine input to an oil-

- mented sandstone breccia from Brora, Scotland. *Organic Geochemistry*, 1999, 30(4): 237 ~ 247
- 3 Drou L I, Holba A G, *et al.* Application of new diterpane biomarkers to source, biodegradation and mixing effects on Central Llanos Basin oils, Colombia. *Organic Geochemistry*, 1999, 30(4): 515 ~ 534
- 4 Isaksen G H, Patience R, *et al.* Hydrocarbon system analysis in a rift basin with mixed marine and non-marine source rocks: The south Viking Graben, North Sea. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(4): 557 ~ 591
- 5 张敏, 林壬子, 梅博文. 油藏地球化学——塔里木盆地库车含油气系统研究. 重庆: 重庆大学出版社, 1997 [Zhang Min, Lin Renzi, Mei Bowen, *Reservoir Geochemistry—Approach to Kuche Petroleum System of Tarim Basin, China*. Chongqing: Chongqing University Press, 1997]
- 6 王文军, 宋宁, 姜乃煌, 等. 未熟油与成熟油的混源实验、混源理论图版及其应用. *石油勘探与开发*, 1999, 26(4): 34-37 [Wang Wenjun, Shong Lin, *et al.* The mixture laboratory experiment of immature oil and mature oils, making and using the mixture source theory plat and its application. *Petroleum Exploration and Development*, 1999, 26(4): 34 ~ 37]
- 7 张敏, 王东永, 朱翠山, 等. 冀中坳陷苏桥-文安地区混源油定量识别模式研究 / 原油成因分类及其地球化学特征. *天然气地球科学*, 2004, 15(2): 115 ~ 119 [Zhang Min, Wang Dongliang, Zhu Cuishan, *et al.* Study on quantitative identification model of mixed oils from Suqiao-Wenan Area in Jizhong Depression. *Geogas Science*, 2004, 15(2): 115 ~ 119]

Quantitative Identification Model of Mixed Oils from Suqiao-wenan Area in Jidong Depression: Mixed experiment of typical oils and identification model of mixed oils

LIANG Hong-bin^{1,2} ZHANG Min³ WANG Dong-liang²

MENG Fan-cheng⁴ ZHU Cui-shan³ FENG Min³

1(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou, Guangdong 510640)

2(Exploration & Development Research Institute of Hubei Oilfield Compony, Renqiu, Hebei 062552)

3(Geochemistry Department of Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023)

4 (Hubei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552)

Abstract Artificial mixed experiment and geochemical characteristics of mixed oils between coal-formed oil and Paleocene Tertiary oil from Suqiao - Wenan Area in Jidong Depression have been analyzed and studied systematically, the results suggest that the absolute amounts of C₁₉tricyclic terpene, C₂₄ tetracyclic terpane, C₃₀diahopane, C₂₉sterane and diasteranes are decreasing due to the increasing of Paleocene Tertiary oil in mixed oils. In contrast, the absolute amounts of pristane, phytane, gammacerane, C₂₇ sterane are increasing. Quantitative identification model of mixed oils from Suqiao-wenan area in Jidong depression have been established based on geochemical characteristics of the absolute amounts for saturated hydrocarbon biomarkers and polycyclic aromatic hydrocarbons. According to the geochemical model of our study, crude oil of Well Su 49 consists of approximately 10 % Paleocene Tertiary oil and 90 % coal-formed oil, and the crude oil of Well Wen102-1 consists of approximately 90 % Paleocene Tertiary oil and 10 % coal-formed oil.

Key words quantitative identification model, mixed oil, coal-formed oil, Paleocene Tertiary oil, Jidong depression