

四川盆地凝析油的地球化学特征

王顺玉 王廷栋

(西南石油学院)

根据凝析油中轻烃的烷基化程度和芳构化程度, C_6 、 C_7 和 C_8 烃类的族组成, 本文将四川盆地的凝析油分成了五大类: (1) 成熟陆源母质生成的凝析油; (2) 高成熟陆源母质来源为主的凝析油; (3) 成熟湖相腐泥母质来源为主的凝析油; (4) 高成熟海相腐泥母质来源为主的凝析油; (5) 高成熟泥源凝析油。

关键词 四川盆地 凝析油 有机地化特征

凝析气藏和含凝析油的气藏是天然气藏中的重要类型。根据 Tissot (1974) 等的模式^[1], R_o 为 1.3—2.0% 相当于凝析油和湿气阶段。实际上, 煤系地层在成熟阶段也有凝析油出现, 甚至在未成熟阶段也可生成凝析油^[2], 因此 Tissot 模式必须修正。凝析油不同于一般原油之处, 主要是它在地下以气相存在, 因而高的气油比 (高于 $600-800 \text{ m}^3/\text{m}^3$) 是凝析气藏形成的先决条件。腐殖母质在成熟阶段也以生气为主, 因此在成熟阶段即可形成凝析气藏。四川盆地有不少凝析气藏。为了查明这些凝析气藏中凝析油的来源和成熟度, 本文研究了凝析油中轻烃的烷基化程度 (paraffinicity) 和芳构化程度, C_6 、 C_7 和 C_8 烃类的族组成, 同时研究了凝析油的甲基菲指数、芳烃中一些特征化合物以及凝析油的碳同位素组成。凝析油地化特征的研究, 对于四川盆地一些凝析气藏和含凝析油的气藏油气富集规律的阐明, 有重要意义。

一、地质背景

四川盆地是一个中、新生代形成的构造兼沉积盆地。以华蓥山和龙泉山为界, 可把盆地分为川中隆起带、川西北坳陷带和川东南坳陷带。两个坳陷带内, 断层都较发育。川中隆起带也有一些小断层。盆地内沉积岩具有多层系、多旋回的特点。从侏罗系到震旦系, 生油气层发育, 有海相泥、页岩, 碳酸盐岩, 陆相含煤层系和湖相页岩。除上三叠统须家河组 (香溪群) 和二叠统龙潭组含煤层系的干酪根主要为Ⅲ型外, 其余均为Ⅰ、Ⅱ型。三叠系以下生油岩, R_o 一般大于 2%, 已达到过成熟阶段。因此, 凝析气藏和含凝析油的气藏主要分布在三叠系和侏罗系中。

二、实验方法

分析凝析油轻烃时, 我们采用 He 抽提法直接进样, 进样量 0.3—1 μL 。仪器是日本生产的

带数据处理机的岛津 GC-7A 型气相色谱仪。色谱柱是直径为 0.22 mm、长 80 m 的 OV-101 石英毛细管柱。载气为氦气, 流量 10 mL/min, 分流比 100:1。初温 30℃, 升温速率开始为 1℃/min, 正庚烷出峰后换为 4℃/min。据需要可随时停止分析。汽化室温度为 280℃。FID 检测。化合物定性根据保留指数, 定量采用面积归一法。

三、结果与讨论

(一) 凝析油的轻烃特征及凝析油的分类

轻烃是原油和凝析油的重要组分。轻烃的组成不仅与它的母质有密切关系, 也与烃体系在地下所处的温度和压力有关。因此, 可以根据轻烃的地化特征, 对凝析油进行生因分类。

为了判断四川盆地凝析油的成熟度, 我们研究了轻烃的烷基化程度和芳构化程度。在温度的作用下, 烃类会缓慢而又持续地向稳定的分子结构转变。从图 1 看到, 链烃比环烷烃稳定, 苯和甲苯在高温下比己烷和环己烷稳定。这正是利用烷基化程度和芳构化程度表示油或凝析油成熟度的理论依据。

Philippi(1975)报道了加利福尼亚一些盆地的沉积物中, 轻烃的烷基化程度随埋深的增加而增加^[4]。Thompson(1983)用庚烷值和异庚烷值来衡量沉积物中轻烃的烷基化程度, 将原油划分为四大类, 并认为这种分类也适合于凝析油^[6]。我们发现, 庚烷值和异庚烷值不但受成熟度的控制, 也受母质类型的影响, 尤其是庚烷值更为明显, 主要是腐泥母质来源的凝析油正构烷烃丰富。因此不能用同一标准来划分不同母质来源的凝析油的成熟度。在研究中, 我们参照 Thompson 的不同类型干酪根来源的油(凝析油)的庚烷值和异庚烷值随成熟度变化的关系图, 区分了四川盆地不同母质来源和成熟度的凝析油。然而我们发现, 有些成熟度极高的煤系生成的凝析油, 它们的庚烷值和异庚烷值反而低, 如川西北老关庙须二段的凝析油和文兴场须四段的凝析油, 其源岩 R_o 为 1.8—2.0%, 庚烷值分别为 15.89 和 8.16, 异庚烷值分别为 1.51 和 1.29。我们认为, 在高成熟后期凝析油轻烃的演化过程中, 芳构化起了主要作用, 因此我们在进行凝析油生因分类时, 既要考虑烷基化程度, 又要考虑芳构化程度。

根据轻烃的烷基化程度和芳构化程度, 我们将四川盆地的凝析油按生因大致分成了五大类(图 2、图 3)。(1) 成熟的陆源母质来源凝析油: 见于上三叠统一一些自生自储的气藏, 主要分布在川中八角场和川西北中坝一带。这些气藏中的天然气具的煤成气的特征。庚烷值较腐泥母质来源的凝析油低, 异庚烷值也低, 芳构化程度较腐泥母质来源的凝析油高。有趣的是, 川中八角场角 6 井大安寨组大一段的凝析油与这类凝析油有类似的特征, 最近我们作了储层沥青的研究, 证明它确是来自上三叠统香溪群^[6]。(2) 高成熟的陆源母质来源为主的凝析油: 除了在一些埋藏深的上三叠统煤系中可见到此类凝析油(如老关庙须二段和文兴场须四

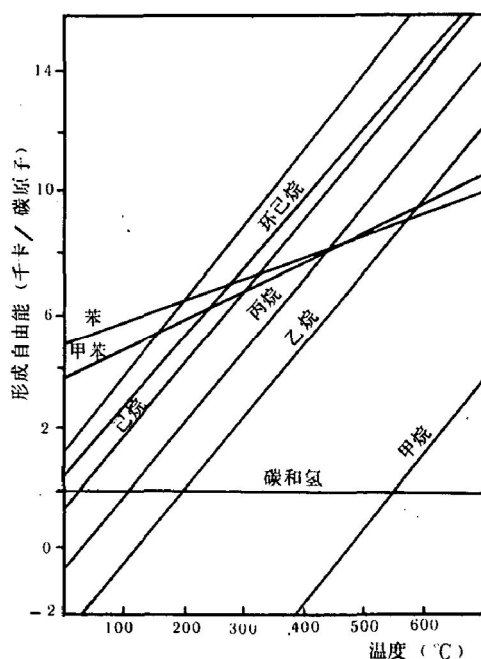


图 1 温度和烃类的热稳定性
(据 Hunt, 1975)

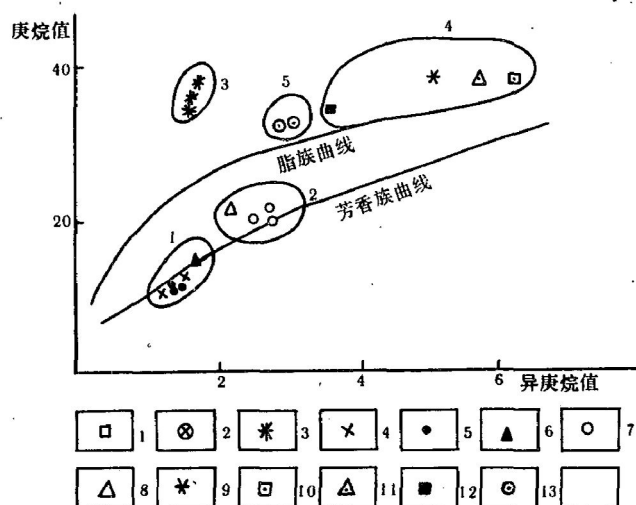


图2 以庚烷值和异庚烷值为依据的凝析油分类

1—川西北老关庙须二段凝析油, 2—川西北文兴场须四段凝析油, 3—川中八角场大安寨组凝析油, 4—川西北中坝须家河组凝析油, 5—川中八角场香溪群凝析油, 6—川中八角场角6井大安寨组凝析油, 7—川东卧龙河嘉陵江组凝析油, 8—川东板东4井凝析油, 9—川南纳溪嘉陵江组凝析油, 10—川西北中坝雷一段凝析油, 11—川南白节滩嘉陵江组凝析油, 12—川南阳高寺嘉陵江组凝析油, 13—川西北中坝雷三段凝析油

段的凝析油)外, 在一些高成熟的碳酸盐岩地层中也发现了这类凝析油, 如川东卧龙河构造嘉陵江组的凝析油和川东板东长兴组生物礁气藏中的凝析油。这些碳酸盐岩本身生油气能力差, 源岩主要为二叠系龙潭煤系。龙潭煤系在川东发育良好, 且生气条件好。构造中断层发育, 为二叠系油气的向上运移提供了条件。庚烷值、异庚烷值和芳构化程度均增大, 但庚烷值和异庚烷值大多仍低于腐泥母质来源的凝析油。(3) 成熟的湖相腐泥母质来源为主的凝析油: 川中八角场大安寨组大一段的凝析油是这类的代表, 角6井例外。该类凝析油庚烷值很高, 异庚烷值低于2, 芳构化程度低。(4) 高成熟的海相腐泥母质来源为主的凝析油: 川西北中坝雷一段、川南嘉陵江组的凝析油属这类。与雷一段的凝析油相比, 川南嘉陵江组的凝析油具有相对低的庚烷值和高的芳构化程度, 且凝析油的族组成中有较高的苯和甲苯含量, 这表明川南嘉陵江组的凝析油中有部分陆源

母质来源的油气的输入。从天然气的碳同位素特征考虑, 输入的陆源母质来源的油气主要来自二叠系龙潭煤系^[7]。(5) 高成熟混源凝析油: 中坝雷三段的凝析油是这类的典型。虽然从烷化程度看, 是腐泥母质生成的, 但雷三段的成熟与雷一段 (R_o 为 1.62%) 大体相当, 从庚烷值和异庚烷值判断凝析油的成熟度却远远低于雷一段, 芳构化程度较雷一段高得多, 接近陆源母质来源的凝析油, 除了雷三段本身外, 须一段可能是它的主要源岩^[8]。

腐殖母质来源的轻烃中, 甲基环己烷丰富。五员环烷烃主要来自水生生物, 正庚烷主要来自藻类和细菌。因此有人利用上述三种化合物的组成三角图来反映不同油气源

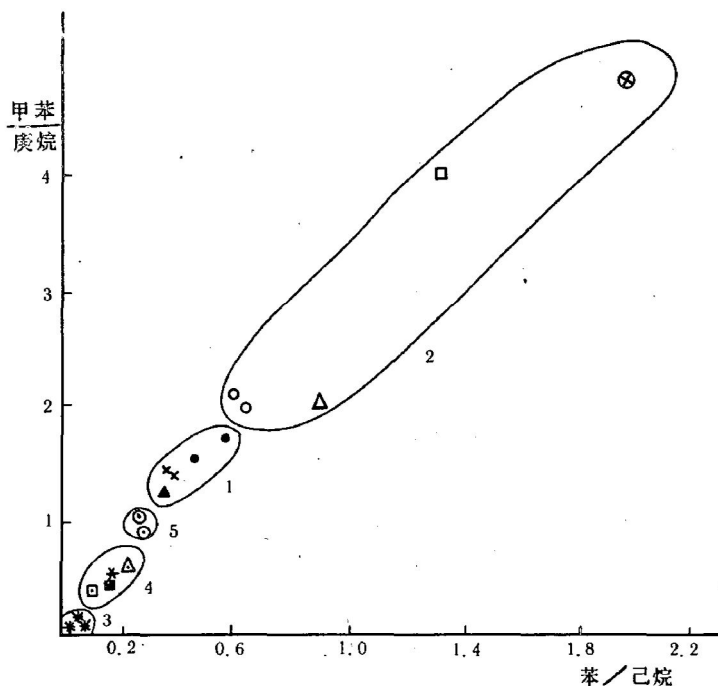


图3 根据凝析油的芳构化程度分类

岩的类型。我们也采用这三种化合物的组成三角图，将四川盆地的凝析油大致分成了五大类（图4）。与图2不同的是，川西北老关庙须二段和文兴场须四段的凝析油落到了成熟的陆源母质来源的凝析油中，这主要是由于在高成熟阶段后期，芳构化起了主要作用。

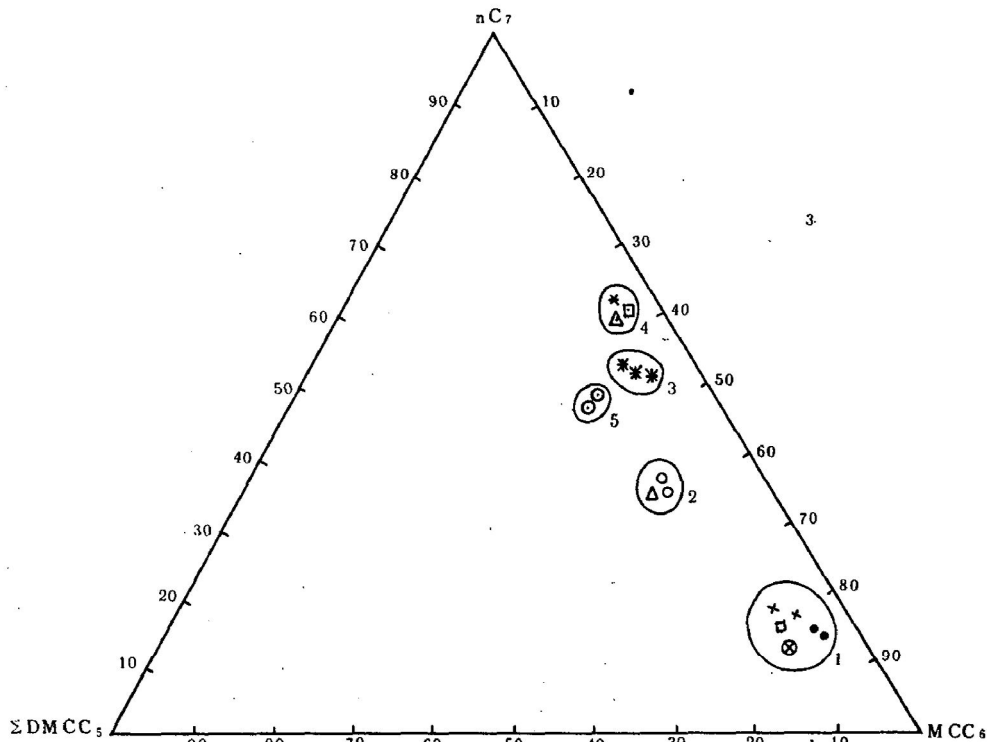


图4 根据正庚烷、甲基环己烷、二甲基环戊烷分类

将 C_6 、 C_7 和 C_8 烃类的族组成作三角图，也可将四川盆地的凝析油按生因分类（图5、图

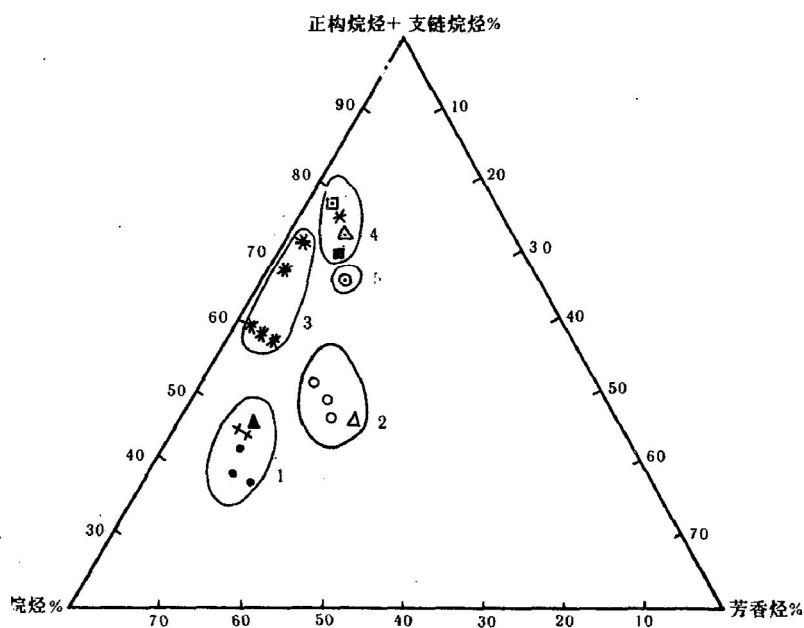


图5 根据凝析油的 C_6 烃族组成分类

6 和图 7), 与根据烷基化程度和芳构化程度进行的生因分类一致, 从图 5、图 6 和图 7 中我们可以发现一个有趣的现象, 中坝雷三段凝析油随碳数的增加, 链烃含量减少, 芳烃含量增加, 其族组成越来越接近陆源母质来源的凝析油。这表明雷三段凝析油中主要混入了陆源母质来源的凝析油。前面已提到须一段是它的主要源岩, 看来是可信的。

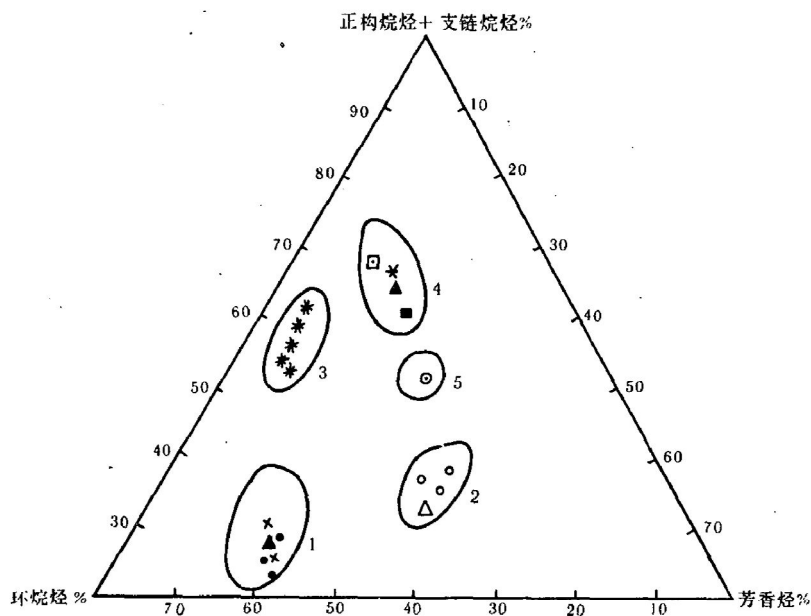


图 6 根据凝析油中 C_7 烃的族组成分类

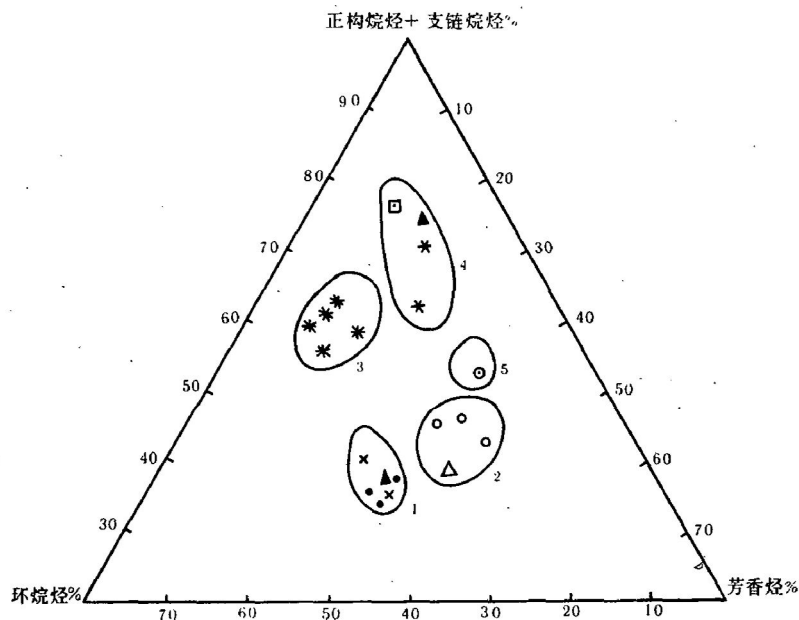


图 7 根据凝析油中 C_8 烃族组成分类

(二) 凝析油的芳烃特征

菲和甲基菲在凝析油芳烃组分中有较高的丰度。在凝析油芳烃谱图中, 甲基菲以四个一组的特征峰出现。但二甲基菲出现不完全, 或几乎不出现, 因此下文对二甲基菲不予讨论。Rad-

ke 等 (1982)^[9]报道了甲基菲指数 (MPI, MPI₁, MPI₂) 随成熟度的增加而增加, 达到最大值后又随成熟度的增加逐渐减小。四川盆地一些凝析油的甲基菲指数大致符合 Radke 等报道的规律 (图 8), 从大安寨组经须家河组、香溪群、雷口坡组到嘉陵江组, 随成熟度增加, 凝析油中甲基菲指数先是增加, 然后在香溪群和雷口坡组之间发生倒转 (雷口坡组以下, 随成熟度增加, 有逐渐变小的趋势)。这表明雷口坡组的凝析油已达到高成熟阶段了。

芳烃中有些化合物具有生源意义。代表陆源高等植物树脂衍生产品的萜烯和海松烯可用于母质类型的判断。萜烯和海松烯是由松香酸和海松酸经歧化反应衍生而来^[10]。陆相源岩和原油中有较丰富的萜烯和海松烯, 在与陆相母质有关的凝析油或储层中也有较多的该类化合物, 在有些埋藏不太深的这类凝析油中, 萜烯和海松烯只能在储层中出现。表 1 列出了四川盆地一些凝析油和岩石抽提物中的萜烯和海松烯相对含量。中坝须家河组和八角场香溪群的源岩和储层中有较多的萜烯和海松烯, 角 6 井灰岩储层中也有一定的萜烯和海松烯, 这进一步证明角 6 井的油气主要来自香溪群。中坝雷三段的凝析油和储层中也有萜烯和海松烯, 进一步证实雷三段的油气主要来自须一段。

表 1 四川盆地一些凝析油和岩石抽提物中萜烯和海松烯的相对含量

井 号	层 位	岩 性	海松烯 三甲基菲 (5)	海松烯 烷基菲	萜烯 烷基菲
中 71	T _{3z} ³	粉砂岩	0.57	0.052	0.032
中 71	T _{3z} ³	页 岩	0.55	0.052	0.029
中 50	T _{3z} ³	砂 岩	0.72	0.077	0.021
角 46	T _{3n} ⁵	页 岩	0.51	0.053	0.069
角 48	T _n ³	页 岩	0.42	0.038	0.031
角 6	T ₆ ⁴	灰 岩	0.27	0.044	0.042
中 3	T _{2r} ³	白云岩	0.63	0.057	0.081
中 18	T _{2r} ³	凝析油	0.62	0.056	0.031

(三) 凝析油的碳同位素组成

许多研究者认为陆相原油较海相原油富¹²C, 但有人提出异议 (Deines, 1980; Yeh 和 Epstein, 1981; Zvisofer, 1984)。因为陆相湖泊水生生物具有较轻的碳同位素组成 ($\delta^{13}\text{C}$ 为 -31‰), 而陆相沼泽或海陆交互相成煤环境中生长的高等植物相对富¹³C ($\delta^{13}\text{C}$ 为 -24‰ 和 -14‰) (De-

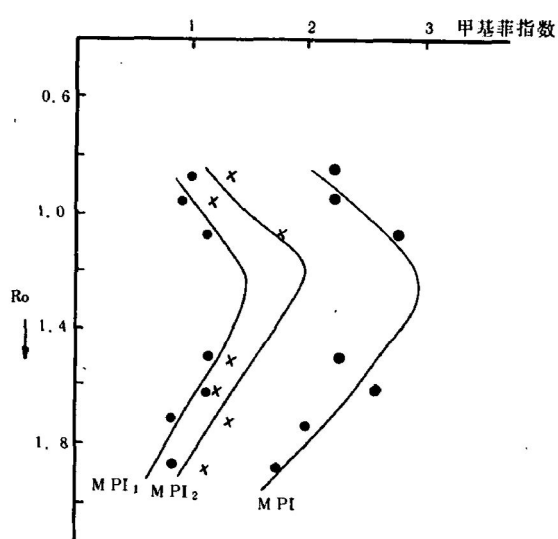


图 8 凝析油甲基菲指数与成熟度的关系

gens, 1969), 因此, 煤系有机质及其衍生物具有较重的碳同位素组成。表 2 列出了四川盆地一些凝析油的 $\delta^{13}\text{C}$ 数据。与煤系有机质有关的香溪群、须家河组、川东卧龙河嘉陵江组和板东 4 井、角 6 井的凝析油, $\delta^{13}\text{C}$ 值较大, 而腐泥母质来源的凝析油, $\delta^{13}\text{C}$ 值较小。这个结果与根据轻烃作出的关于凝析油母质来源的结论是一致的。雷三段凝析油的碳同位素最轻, 一种可能是腐泥母质在凝析油的形成过程中的贡献较大, 另一种可能是一部分烃与地层中的石膏作用, 形成了 CO_2 , 从而造成了碳同位素的分异。

表 2 四川盆地一些凝析油及组分的碳同位素组成

母质	气藏	井号	层位	凝析油 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{sat}}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{aro}}$ (‰)
腐殖母质为主	川西北中坝	中 29	T_{3w}^2	-26.02	-26.69	-24.74
		中 34	T_{3z}^2	-25.96	-26.57	-24.69
	川中八角场	角 13	T_4^2	-26.05	-27.63	-24.13
		角 48	T_n^6	-25.89	-27.70	-25.50
		角 6	J_1^4	-24.99	-26.88	-24.09
	川东卧龙河	卧 13	T_{c1}^5	-26.28	-26.35	-25.26
		卧 70	T_c	-25.87	-26.16	-24.51
	川东板东	板东 4	P_2^2	-26.51	-26.54	-25.66
腐泥母质为主	川中八角场	角 2	J_1^4	-29.92	-29.99	-28.29
		角 12	J_1^4	-29.10	-29.78	-28.02
	川南纳溪	纳 24	T_c^1	-30.64	-30.96	-29.35
	川南白节滩	白 1	T_c^1	-29.52	-29.88	-27.60
	川西北中坝	中 21	T_{2r}^3	-31.47	-31.89	-30.18
		中 40	T_{2r}^3	-31.67	-32.05	-30.15

四、结 论

1. 根据凝析油中轻烃的烷基化程度和芳构化程度, 以及 C_6 、 C_7 、 C_8 烃的族组成, 本文将四川盆地的凝析油大致分成了五大类。这种用轻烃特征进行的凝析油分类结果, 与根据凝析油甲基菲指数、芳烃中一些具有生源意义的化合物和凝析油的碳同位素组成得出的结论一致。

2. 利用轻烃判断凝析油的母质来源和成熟度, 既要考虑烷基化程度, 又要考虑芳构化程度。对于划分凝析油的生因类型, Thompson 的庚烷值和异庚烷值同成熟度的关系图, 以及正庚烷、甲基环己烷、二甲基环戊烷三角图, 都是有价值的。

3. 四川盆地上三叠统的气藏为自生自储气藏, 中、下三叠统的凝析气藏和含凝析油的气藏不完全是自生自储的。中坝雷三段气藏的油气主要来自须一段; 川东卧龙河嘉陵江组的油气主要来自二叠系龙潭煤系; 川南一些嘉陵江组的油气也混有一部分煤系来源的油气; 就是川中八角场大安寨组凝析气藏中的油气, 也或多或少地有香溪群油气的侵入^[6]。因此四川盆地凝析气藏中的混源现象十分普遍, 断层在油气的运移、聚集中起了关键的作用, 在今后的勘探工作中应当重视。

参 考 文 献

- [1] Tissot, B. P. et al., 1974, AAPG Bull., Vol. 58, P. 499—506.
- [2] Snowdon, L. R. et al., 1982, AAPG Bull., Vol. 66, No. 6, P. 775—788.
- [3] Hunt, 1979, Petroleum Geochemistry and Geology. W. Freeman and Company.
- [4] Philippi, G. T., 1975, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 39, P. 1353—1373.
- [5] Thompson, K. F. M., 1983, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 47, P. 307—316.
- [6] 王廷栋、王顺玉、蔡开平, 1989, 载：天然气地质研究论文集, 101—109 页。
- [7] 王廷栋、王海清等, 1989, 西南石油学院学报, 1—15 页。
- [8] 王廷栋、郑永坚等, 1989, 天然气工业, 第 5 期, 20—25 页。
- [9] Radke, M. et al., 1982, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 46, P. 1—10.
- [10] Barnes, M. A. et al., 1981, In Advances in Organic Geochemistry.

GEOCHEMICAL CHARACTERS OF CONDENSATES IN SICHUAN BASIN

Wang Shunyu Wang Tingdong

(Southwestern Petroleum Institute)

Abstract

According to the Paraffinicity and aromatizaion of light hydrocarbons, the family components of C_6 , C_7 and C_8 hydrocarbons in condensates, five types of condensates in Sichuan basin are classified.

1. Mature condensates from terrestrial materials.
2. supermature condensates predominatly from terrestrial materials.
3. Mature condensates from lacustrine sapropelites.
4. Supermature condensates from marine sapropelites.
5. Mixed supermature condensates from different origion.

Other geochemical data confirm that the condensate classification on the characters of light hydrocarbons is reliable.