

# 塔中北斜坡原油轻烃组成及地球化学特征

王 祥<sup>1,2</sup>, 张 敏<sup>1,2</sup>, 刘玉华<sup>1,2</sup>

(1. 长江大学地球化学系, 湖北 荆州 434023;

2. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州 434023)

**摘要:**塔中北斜坡原油为低硫、低蜡的典型腐泥型母质来源的原油,其苯含量低,正己烷和环己烷含量较高,正庚烷含量高,二甲基环戊烷含量极低,说明藻类和细菌是主要的烃源。该斜坡原油的 Mango 轻烃参数  $K_1$  值主要分布在 1 左右,平均值为 1.11,除个别井(塔中 24 井) $K_1$  值偏离较大之外,基本上与 Mango 所做结论一致; $K_2$  值普遍较低,平均值为 0.21,为典型的海相油特征;原油庚烷值大于 30%,异庚烷值也大于 2.0,表明原油已处于高成熟阶段。

**关键词:**塔中北斜坡;轻烃;Mango 轻烃参数( $K_1$ 、 $K_2$ );庚烷值;异庚烷值;

**中图分类号:**TE122.1<sup>+</sup>13

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2008)05-0713-05

## 0 引言

石油的生成过程始终伴随有气态烃类的生成<sup>[1]</sup>,因而原油的轻烃馏分中包含有丰富的关于石油形成、成藏方面的信息。Mango<sup>[2]</sup>用气相色谱分析了世界各地油田 2 000 余个不同类型原油的轻烃,发现所分析的原油中 4 个异庚烷化合物的组成具有显著的不变性,因而提出轻烃的稳态催化动力学成因模式,从而建立起一套比 Thompson<sup>[3]</sup>轻烃成因观点更完善的理论体系。在随后的研究中<sup>[4-6]</sup>,他进一步完善了这种成因模式,并以此推导出一系列具有广泛应用前景的参数。

已有的一些研究表明,这类参数可作为原油分类和油源对比的有效工具<sup>[7-9]</sup>。本文拟利用 Mango 轻烃参数作为一种地球化学工具,结合其他地质、地球化学背景资料对塔中北斜坡原油轻烃组成及地球化学特征进行分析讨论,旨在为该地区的油气勘探提供有力的帮助。

## 1 地质背景

塔中地区是指塔里木盆地中央隆起中段的塔中隆起,包括 3 个次级构造单元,即塔中隆起北部斜坡带(简称塔中北斜坡)、中央断垒带及塔中隆起南部

斜坡带(简称塔中南斜坡)。塔中隆起是一个长期发育的继承性隆起,形成于晚加里东运动时期,定形于石炭纪,是一个被一系列逆冲断裂切割的大型缓背斜构造。油气主要来自寒武系—奥陶系海相碳酸盐岩或泥灰岩,储集于石炭系、志留系碎屑岩储层和奥陶系碳酸盐岩储层<sup>[10-11]</sup>。

## 2 样品与实验

本文研究的原油样品取自塔中北斜坡勘探区几乎所有的重要探井,分布于奥陶系、志留系和石炭系。实验所用仪器为美国 Varian 公司生产的 SP3400 气相色谱仪,色谱柱为 OV-101 弹性石英毛细柱(50m×0.25mm×0.25 $\mu$ m),氢火焰检测器。升温程序:始温 30℃,恒温 6min,后以 6℃/min 升温至 100℃,分流比为 25:1,以氮气作载气。

## 3 结果与讨论

### 3.1 原油物性特征

塔中北斜坡奥陶系大多数原油密度(20℃,下同)分布在 0.80~0.93 g/cm<sup>3</sup> 之间,属正常密度的原油,但塔中 44 井、塔中 451 井的奥陶系原油密度均小于 0.80 g/cm<sup>3</sup>,属凝析油。而志留系和石炭系的原油密度比较接近,主要分布在 0.84~0.95 g/cm<sup>3</sup>



主要组成物<sup>[12]</sup>,而各种构型的二甲基环戊烷和乙基环戊烷主要来自水生生物甾类化合物和萜类化合物中的环状类脂体。

塔中北斜坡原油 C<sub>7</sub> 轻烃族组成如图 3 所示,各

样品正庚烷、二甲基环戊烷和甲基环己烷相对百分含量相差不大。正庚烷含量高(32.6%~86.7%),二甲基环戊烷含量极低(0~4.6%),反映出藻类和细菌是主要的生烃来源。

表 1 塔中北斜坡原油轻烃组成参数

井号	层位	C <sub>7</sub> 烃组成(%)			C <sub>6</sub> 烃组成(%)			K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	庚烷值(%)	异庚烷值
		nC <sub>7</sub>	MCYC <sub>6</sub>	ΣDMCC <sub>5</sub>	nC <sub>6</sub>	CyC <sub>6</sub>	Bz				
TZ161	C	81.1	17	1.9	61.2	28.4	10.4	1.08	0.21	41.62	3.71
TZ168	C	83.2	15.1	1.7	62.3	27.1	10.6	1.09	0.19	41.74	2.87
TZ24	C	86.7	10.5	2.8	67.9	23.1	9	1.09	0.21	45.05	3.53
TZ161	O	68.9	27.9	3.2	52.6	35.2	12.2	1.07	0.26	36.21	2.51
TZ451	O	77.4	18	4.6	58	28.4	13.6	1.1	0.24	39.36	2.73
TZ54	O	66.3	31	2.7	57	33.5	9.5	1.04	0.23	38.24	3.08
TZ45	O	79.2	18.1	2.7	58.2	27.8	14	1.07	0.25	39.1	2.7
TZ168	O	68.7	27.5	3.8	52.6	34.7	12.7	1.14	0.21	36.6	2.5
TZ24	O	32.6	67.4	0	54.8	41.1	4.1	1.22	0.2	40.27	2.69
TZ44	O	57.9	38.9	3.2	48.6	39.1	12.3	1.11	0.18	34.85	2.3
TZ452	O	72.3	26.1	1.6	45.6	40.8	13.6	1.09	0.24	30.93	2.27
TZ30	S	50.8	49.2	0	42.7	42.3	15	1.14	0.19	32	1.6

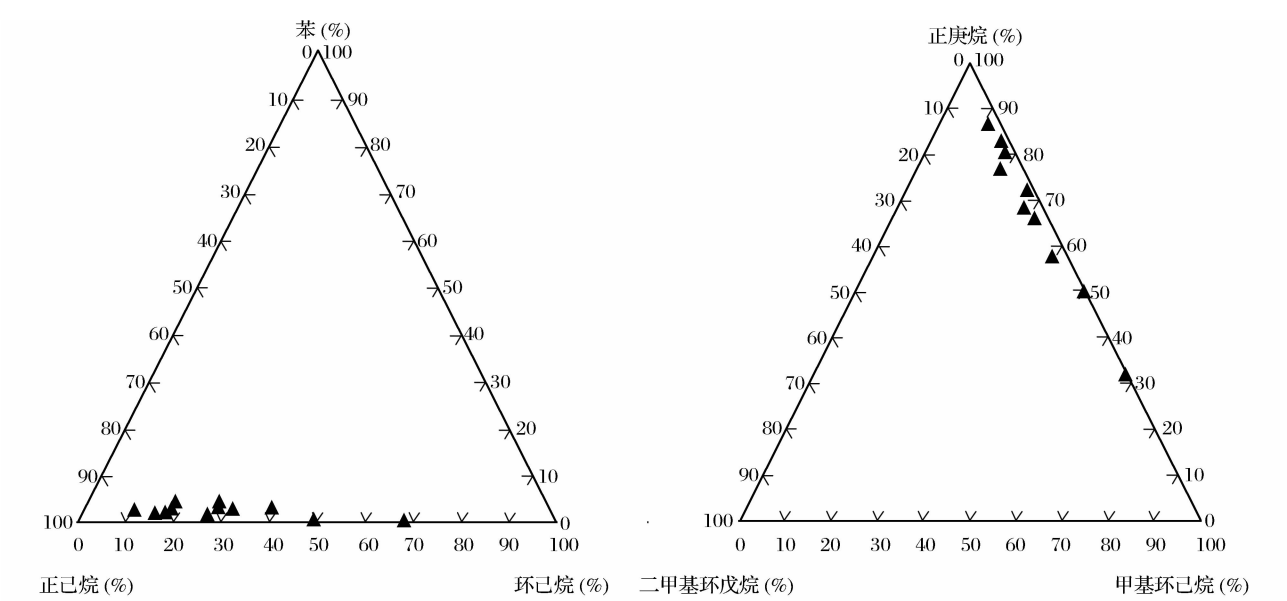


图 3 塔中北斜坡原油 C<sub>6</sub> 族和 C<sub>7</sub> 族组成

3.3 Mango 轻烃参数(K<sub>1</sub>)特征

20 世纪 80 年代中期,Mango 在对采自世界各地(主要是北美)油藏的 2 258 个原油样品中甲基己烷(2-MH 和 3-MH)和二甲基戊烷(2,3-DMP 和 2,4-DMP)进行了研究,发现其浓度之和的比值,K<sub>1</sub>=[(2-MH+2,3-DMP)/(3-MH+2,4-DMP)]显示出不变性<sup>[2]</sup>。从塔中北斜坡原油 K<sub>1</sub> 值的分布(图 4、图 5)来看(分布范围在 1.07~1.22 之间,中值为

1.11),除塔中 24 井奥陶系原油 K<sub>1</sub> 值大于 1.2,表现为高 K<sub>1</sub> 值外,其他样品 K<sub>1</sub> 值均分布在 0.86~1.20 之间,与 Mango 所得出的 [(2-MH)+(2,3-DMP)]/[(3-MH)+(2,4-DMP)]=1 的结论一致<sup>[5-6]</sup>。同时,K<sub>1</sub> 值与 2-MH/3-MH 值的正相关性并不是很好,K<sub>1</sub> 与 2,3-DMP/2,4-DMP 值也不具相关性,与张敏(1998)等研究所得出的结论相一致,也就是说,原油中 2-MH 和 3-MH 的含量决定着 K<sub>1</sub> 值的变化程

度<sup>[12]</sup>。同时还认为这些原油中 2-MH/3-MH 值差异性,可能与烃源岩沉积介质条件有关,其中酸性催化剂作用的强弱在轻烃形成过程中起着重要的作用<sup>[9]</sup>。

3.4 Mango 轻烃参数(  $K_2$  )特征

Mango(1990)<sup>[5]</sup>对 1987 年提出的异构烷烃稳态催化动力学成因模式加以扩展,认为环己烷和环戊烷也是由干酪根的直链单元结构通过环化而来。在此基础上,Mango 对其轻烃稳态催化动力学成因

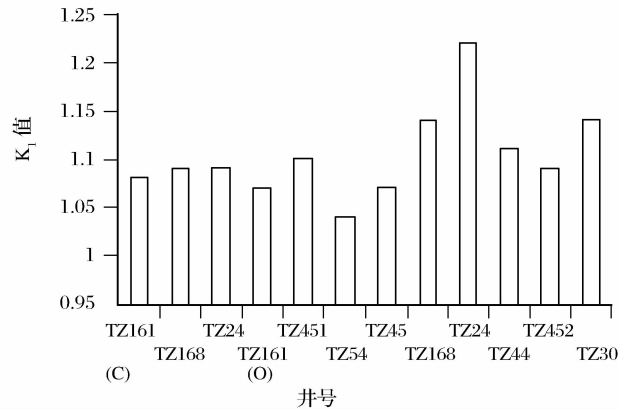


图 4 塔中北斜坡原油  $K_1$  值分布

朱扬明等<sup>[13-14]</sup>认为原油轻烃的  $K_2$  值与源岩有机质类型及沉积环境性质有关。在  $C_7$  化合物中, $P_3$  变化在 6.10%~9.19%之间,  $(P_2 + N_2)$  值变化在 31.72%~34.98%之间,且以一定的斜率变化,总体上海相油  $K_2$  值较低,陆相油的  $K_2$  值比海相油高得多。塔中北斜坡原油  $K_2$  值普遍较低,分布在 0.19~0.26 之间,平均值为 0.21,反映出典型的海相油特征,并未发现陆相原油特征。

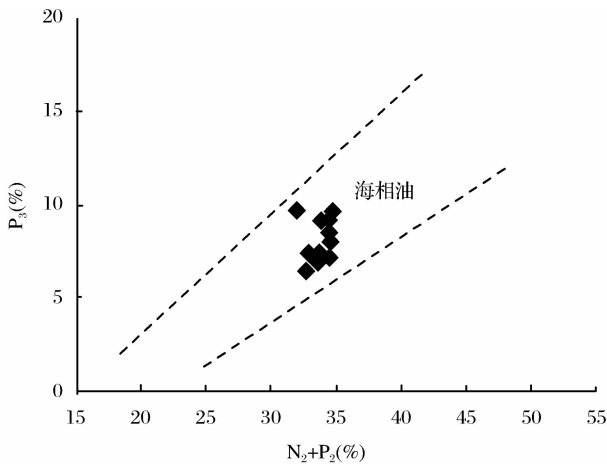


图 5 塔中北斜坡原油的  $P_3$  值和  $(P_2 + N_2)$  值分布

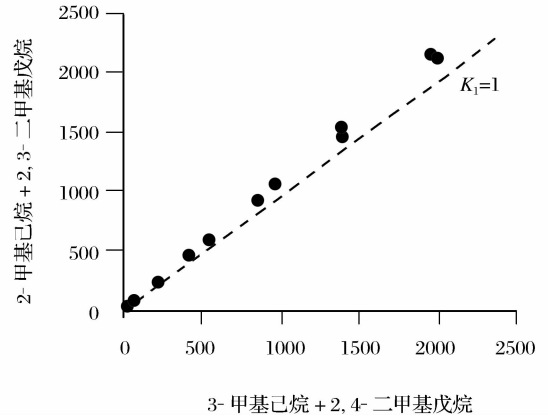
3.5 庚烷值和异庚烷值

Thompson<sup>[3]</sup>根据原油随成熟度增高烷基化程

模式作了进一步的抽象化<sup>[6-7]</sup>,假设形成不同碳数环状化合物的速率是不相关的;而形成同碳数碳环的速率是成比例的,这样就推算出:

$$K_2 = P_3 / (P_2 + N_2)$$

式中: $P_3$ =3-乙基戊烷+3,3-二甲基戊烷+2,3-二甲基戊烷+2,4-二甲基戊烷+2,2-二甲基戊烷; $P_2$ =2-甲基己烷+3-甲基己烷; $N_2$ =1,1-二甲基环戊烷+1,3-二甲基环戊烷(顺、反)。



度也增高的事实,提出了反映原油成熟度的 2 个参数,即庚烷值和异庚烷值,用于区别原油的成熟度。事实上,庚烷值和异庚烷值不仅受成熟度和母质类型的影响<sup>[15]</sup>,次生变化对庚烷值、异庚烷值也有影响,如生物降解作用可使这 2 个值降低,水洗作用也同样可使这 2 个值降低。塔中北斜坡原油庚烷值和异庚烷值如图 6 所示,原油庚烷值大于 30%,异庚烷值也大于 2.0,均处于高成熟阶段,同时可以看出样品的庚烷值和异庚烷值基本上是呈线性相关的,说明成熟度庚烷值和异庚烷值的作用依然表现出规律性的变化。

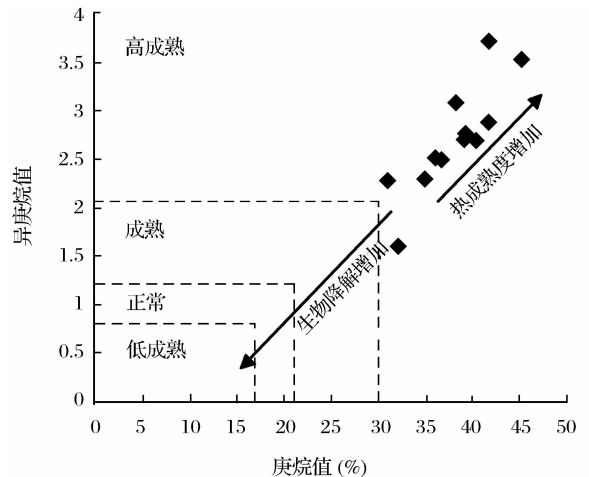


图 6 塔中北斜坡原油庚烷值和异庚烷值变化关系

## 4 结论

(1)塔中北斜坡原油为低硫、低蜡原油,从  $C_6$  和  $C_7$  化合物组成看,原油中苯含量低,正己烷和环己烷含量较高,呈现出典型腐泥型来源油的特征。其正庚烷含量高二甲苯环戊烷含量极低,反映出藻类和细菌是主要的生烃来源。

(2)塔中北斜坡原油 Mango 轻烃参数  $K_1$  值主要分布在 1 左右,平均值为 1.11,除个别井(塔中 24 井) $K_1$  值偏离较大之外,基本上与 Mango 所做结论一致; $K_2$  值普遍较低,平均值为 0.21,反映出典型的海相油特征,并未显现陆相原油特征。

(3)塔中北斜坡原油庚烷值大于 30%,异庚烷值也大于 2.0,表明原油已处于高成熟阶段。

### 参考文献:

- [1] Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984:1-389.
- [2] Mango F D. An invariance in the isoheptanes of petroleum [J]. Science, 1987, 237: 514-517.
- [3] Thompson K F M. Light hydrocarbons in subsurface sediments[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1979, 43:657-672.
- [4] Mango F D. The origin of light hydrocarbon in petroleum: A kinetic test of the steady state catalytic hypothesis [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 1315-1323.
- [5] Mango F D. The origin of light cycloalkanes in petroleum [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 23-27.
- [6] Mango F D. The origin of light hydrocarbons in petroleum: Ring preference in the closure of carbocyclic rings [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1994, 58(2):895-901.
- [7] 张敏,林壬子. 试论轻烃形成过程中过渡金属的催化作用[J]. 地质科技情报,1994,13,75-80.
- [8] 唐友军,刘志刚. 苏丹裂谷盆地原油轻烃地球化学特征[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):756-759.
- [9] 王祥,张敏,黄兴辉. 典型海相油和典型煤成油轻烃特征及地球化学意义[J]. 天然气地球科学,2008,19(1):18-22.
- [10] 张水昌,张保民,王飞宇,等. 塔里木盆地两套海相有效烃源层——I:有机质性质、发育环境及控制因素[J]. 自然科学进展,2001,11(3):261-268.
- [11] 刘庆新,张敏,黄兴辉,等. 塔里木盆地塔中地区原油轻烃组成特征及其意义[J]. 天然气地球科学,2006,17(3):319-322.
- [12] 张敏,张俊. Mango 轻烃参数的开发与应用[J]. 石油勘探与开发,1998,(25):26-28.
- [13] 朱扬明,张春明. Mango 轻烃参数在塔里木原油分类中的应用[J]. 地球化学, 1999,(28):28-29.
- [14] 朱扬明. 稳态催化轻烃成因理论及其应用前景[J]. 勘探家, 1998,(3):7-9.
- [15] 胡惕麟,戈葆雄. 源岩吸附烃和天然轻烃指纹参数的开发和应用[J]. 石油实验地质,1990,12(4):375-393.

## Compositions and Geochemical Characteristics of Light Hydrocarbons in Northern Slope of Tazhong

WANG Xiang<sup>1,2</sup>, ZHANG Min<sup>1,2</sup>, LIU Yu-hua<sup>1,2</sup>

(1. Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou 434023, China;

2. Ministry of Education Key Laboratory of Exploration Technology for Oil and Gas Resources, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** The crude oils in the northern slope of Tazhong generated from sapropel type organic materials are characterized by low sulfur and less wax. The contents of benzene and dimethylcyclopentane are low; and hexane, cyclohexane and normal heptane have a high content, which reflects that hydrocarbons are mainly from algae and bacteria. The ratio  $K_1$  is around 1, and its distribution is basically consistent with the conclusion reported by Mango about light hydrocarbons, but the  $K_1$  value of Tazhong 24 well is a bit high, deviating from the conclusion. Meanwhile, the ratio  $K_2$  is generally low, and the average value is 0.21, suggesting the oils present typical marine oils' characteristics. Heptane value is more than 30% and isoheptane value is also greater than 2.0, which indicates that the oils are in the high mature stage. Noteworthy, the high Heptane and isoheptane values represent that the oils did not undergo intensive biological degradation.

**Key words:** Northern Slope; Tazhong; Light hydrocarbon; ( $K_1$ ,  $K_2$ ); Heptane value; Isoheptane value.