

# 轮南低凸起气洗作用响应及定量评价

吴楠<sup>1,2</sup>, 蔡忠贤<sup>1,2</sup>, 杨海军<sup>3</sup>, 陈建渝<sup>1,2</sup>, 刘显凤<sup>1,2</sup>, 顾乔元<sup>3</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430047
2. 湖北省油气勘探开发理论与技术实验室, 湖北武汉 430074
3. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆库尔勒 841000

**摘要:** 自喜山期, 过量干气自东向西对轮南低凸起原始油藏的大规模侵入、冲刷, 诱发本区持续性气洗分馏作用的发生。在各组分气液溶解平衡的格架下, 气洗作用将导致残余油中正构烷烃的大量损失以及次生凝析气藏的形成。地球化学研究表明, 残余油与凝析油中轻烃组分(C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>)的变化趋势具有典型的气洗分馏特征。同时, 基于气洗作用模型, 通过对各层系原油正构烷烃相对蒸发量(Q)的计算, 定量描述了轮南地区气洗作用的强度。计算结果显示, 奥陶系的油气藏曾遭受强烈的气洗作用, 原油中正构烷烃的相对蒸发量由东向西表现出依次递减的特征。其中, 轮古东地区 Q 值高达 97%; 位于轮南低凸起中部的轮古 2 井以及轮古 18 井地区, 正构烷烃相对蒸发量较小(Q=20%~76%); 而在更加靠近西部的轮古 17 及轮古 100 井, 其原油中正构烷烃分布正常(Q=0), 并未发生气洗分馏作用。另一方面, 石炭系以及三叠系的油气藏均表现出未遭受气洗作用的特征, 证实了喜山期大量干气的优势运移通道被限制于海西早期运动所形成的奥陶系岩溶缝洞体系中的事实。因此, 奥陶系, 尤其是位于临近气源区的轮古东地区, 是轮南地区气藏的有利靶区。

**关键词:** 气洗作用; 正构烷烃相对蒸发量; 轮南低凸起; 蒸发分馏作用; 量化。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2009)03-0486-07

收稿日期: 2008-12-23

## Quantitative Evaluation and the Geochemical Responses of Gas Washing in Lunnan Petroleum Province

WU Nan<sup>1,2</sup>, CAI Zhong-xian<sup>1,2</sup>, YANG Hai-jun<sup>3</sup>, CHEN Jian-yu<sup>1,2</sup>, LIU Xian-feng<sup>1,2</sup>, GU Qiao-yuan<sup>3</sup>

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Key Laboratory of Theory and Technology of Petroleum Exploration and Development, Wuhan 430074, China
3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Tarim Corporation, Korla 841000, China

**Abstract:** Lunnan hydrocarbon province has recently experienced intensive gas invasion since the Himalayan movement, and some of the oils in the Ordovician reservoir show characteristics of progressive fractionation by gas moving. Based on the framework of the components phase equilibrium, the process of gas washing can deplete the *n*-alkanes of the oil and produce the subsequent condensates. Geochemistry analysis shows that both the residual oil and the condensates indicate the phase fractionation characteristics on their light ends (C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>). Moreover, gas chromatogram data show that the altered oils are depleted of light *n*-alkanes. Through calculating the mass depletion of oil in *n*-alkanes relative to an unfractionated oil (Q), it determines that oils in the Ordovician reservoir experienced great alternation of gas washing, and the Q value decreases westward. However, oils in the Carboniferous and Triassic reservoir show no depletion of the *n*-alkanes.

**Key words:** gas washing; relative depletion of *n*-alkanes; Lunnan low uplift; evaporative fractionation; quantification.

在地球化学领域, 影响原油原始组成的因素主要包括以下 4 种: 烃源岩有机质类型的差异、烃源岩热演化程度的不同、烃类流体的流动以及相分馏作

用。其中, 相分馏作用作为一种特殊的流体相行为在油气勘探及开发领域发挥着重要的作用。相分馏作用是指在地下复杂地质条件下, 由于系统温压条件

的改变或外来单相流体的混入, 诱发相离析以及组分物理分馏作用的发生, 并最终导致烃类流体(油、气)原始组成发生变化的过程。

气洗作用是相分馏作用的一种模式。过量外来干气对于原始油藏的不断侵入、冲刷将导致气洗作用的发生。原始油藏在混入大量干气后, 原油中的组分将按各自的气液平衡常数重新配分其在气液两相中的摩尔含量。由于各组分在天然气中的溶解度存在差异性, 轻质易挥发成分多被“蒸发”到气相中。天然气的持续注入一方面保证了这种气洗分馏作用的不断发生, 另一方面使得那些饱和了轻质馏分的天然气在气洗作用后继续运移并在适宜条件下形成次生凝析气藏。

气洗作用并非特定的区域性行为, 在全球范围内, 气洗作用广泛发育于各大油气产区, 包括北美墨西哥湾、北海地区、印尼近海以及台湾近海等(Meulbroek, 2002)。早期学者的大量相关研究工作为后期气洗作用概念性格架的建立奠定了基础。Gussow(1954)最早提出的“差异性聚集”模式, 认为深部储层的原油在油气置换过程中会发生分馏作用并形成凝析油气。Zhuze *et al.* (1962, 1963)认为以气相形式运移的油质馏分在特定条件下可以形成凝析油气藏, 并最早识别出这种次生凝析油链烷烃富集、芳烃贫化的特征。Sliverman(1963)在研究中发现当气顶气沿断裂逸散后, 残余油中轻质端元贫化的现象。Thompson(1987, 1988)基于大量的实验观测数据, 提出蒸发分馏理论用以解释非热裂解成因凝析气藏的形成机制, 这一理论被认为是相分馏研究领域里程碑式的成就。而在随后的研究中Larter and Mills(1991)、Dzou and Hughes(1993)和Curiale and Bromley(1996)等分别对于蒸发分馏理论进行了肯定及补充。气洗作用这一概念最早由Meulbroek *et al.* (1998)提出。虽然同为过量干气背景下的相分馏过程, 但与蒸发分馏作用不同, 气洗作用描述的是一个开放系统在持续混相条件下的多次分馏作用, 而Thompson(1987, 1988)的蒸发分馏实验仅是系统在封闭条件下的单次混合相分馏过程。因此, 蒸发分馏作用可以被视为一种限定条件下的气洗作用(Meulbroek *et al.*, 1998)。

虽然由相分馏作用所引起的气液相组分的变化趋势已为人知, 但在气洗作用数字化模型的建立以及定量描述气洗作用程度及强度等方面的研究甚少。Meulbroek *et al.* (1998)最早建立了一个数字化的模型用以预测 South Eugene Island Block 330

(U. S. Gulf Coast)地区气洗作用的效应。Losh *et al.* (2002)提出了通过对原油中正构烷烃相对蒸发量的计算以定量化的表征气洗作用强度的方法。本文基于气洗作用模型对轮南低凸起在喜山期气侵作用下诱发的相分馏过程进行了分析; 同时, 通过对轮南地区各层系原油正构烷烃相对蒸发量的计算, 首次对本区气洗作用强度进行了定量化的研究。

## 1 油气地质特征

轮南低凸起是塔北隆起的次级构造单元, 其东邻草湖凹陷, 南部靠近满加尔拗陷(图1)。草湖凹陷中发育优质的中下寒武统盆地相烃源岩, 该烃源岩分布范围较广、生烃能力较强。加里东晚期该烃源岩已进入生烃高峰, 但泥盆纪末期强烈的构造抬升运动使得绝大部分的油气藏遭到了破坏。石炭系沉积时期, 南部满加尔凹陷内的中上奥陶统烃源岩进入生烃高峰期, 油气由南至北对形成于加里东晚期—海西早期的奥陶系潜山岩溶缝洞体系进行充注, 构成了现今轮南地区黑油的主体。喜山晚期草湖凹陷内中下寒武统烃源岩进入过成熟演化阶段, 大量干气自东向西的侵入对轮南地区的原始油气藏进行了次生改造。

现今, 轮南低凸起发育多个含油气层系, 流体性质平面展布复杂。同时, 凝析气藏在本区广泛发育, 这些凝析气藏主要分布于奥陶系、石炭系以及三叠系的储层中。油源对比结果显示, 轮南低凸起不同地区、不同层系和不同类型(重质稠油、黑油以及凝析油)的原油具有同源特征, 且成熟度相近(图2); 另一方面, MPI指数折算的凝析油 $R_o$ 仅在1.0%附近, 低于传统热裂解成因凝析气藏 $R_o = 1.3\%$ 的门槛(表1)。对于这种低熟凝析油气藏的研究国外早有报道(Connan and Cassou, 1982; Snowdon and Powell, 1982; Nessenbaum *et al.*, 1985), 而基于气液溶解平衡原理的相分馏作用一直被视作此类凝析气藏的主导成因。另一方面, 轮南地区凝析气组分中甲烷含量平均值高于93%(表2), 反映出喜山期干气气洗作用对于原始油气藏的改造。

## 2 轮南地区气洗作用的地球化学响应

对于气液两相体系, 任一组分 $i$ 在平衡状态下应有 $f_i^L = f_i^V$ , 其中 $f$ 为化合物逸度(fugacity), L代

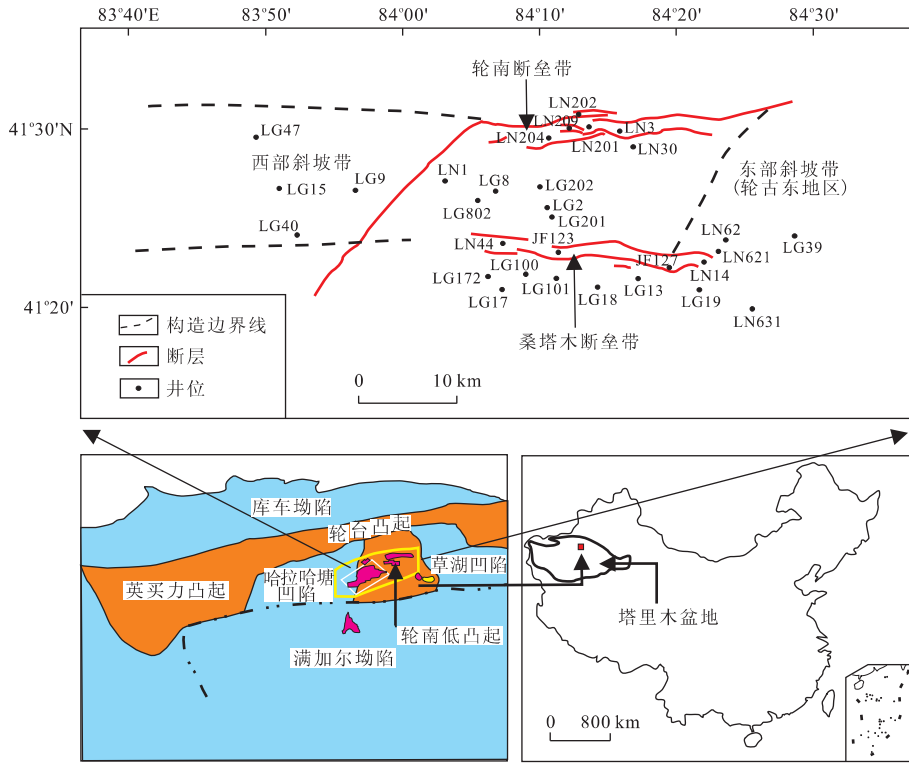


图 1 轮南低凸起地理位置及井位分布图

Fig. 1 Location of the Lunan hydrocarbon province

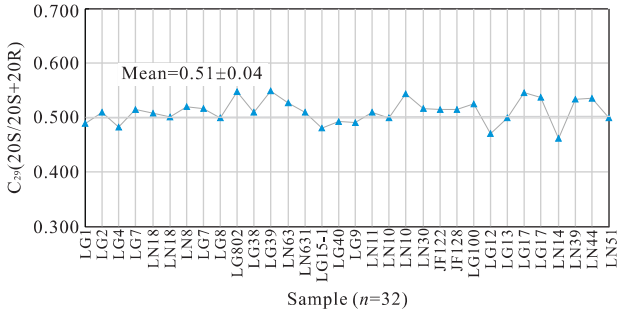


图 2 轮南低凸起 C<sub>29</sub> (20S/20S+20R)分布

Fig. 2 The distribution of C<sub>29</sub> (20S/20S+20R) in Lunan area

表 2 轮南地区凝析气组分

Table 2 Condensate gas composition in Lunan area

井名	层位	CH <sub>4</sub> (%)	C <sub>2</sub> +(%)	天然气相对密度	甲烷系数
JF126	C	93.82	1.82	0.59	0.98
LG8	C	93.76	3.61	0.61	0.96
LN14	C	96.08	1.62	0.58	0.98
LN59	C	94.75	0.83	0.59	0.99
JF123	O	95.05	1.78	0.60	0.98
LG38	O	92.90	1.90	0.61	0.98
LG39	O	95.50	1.00	0.59	0.99
LG391	O	94.40	1.73	0.59	0.98
LG13	O	95.50	2.12	0.60	0.98

表 1 轮南地区原油 MPI 指数折算成熟度

Table 1 Vitrinite reflectance calculated by MPI

井名	层位	样品类型	MPI	R <sub>o</sub> (%)=0.55 MPI+0.44
LG802	O	凝析油	0.93	0.95
LG35	O	黑油	1.37	1.19
LG100	O	黑油	0.95	0.96
LG391	O	凝析油	0.97	0.97
LG172	C	黑油	0.89	0.93
LN59	C	凝析油	1.28	1.14
JF127	T	黑油	0.96	0.97
LG801	T	黑油	0.86	0.91
LG16	O	黑油	1.00	0.99
LG201	O	黑油	1.10	1.05
LG392	O	凝析油	1.12	1.06

表液相, V 代表气相. 对于多组分系统,  $f_i^L = x_i p \Phi_i^L$ ,  $f_i^V = y_i p \Phi_i^V$ , 其中  $x_i$ 、 $y_i$  分别表示组分  $i$  在液相及气相中的摩尔分数,  $\Phi_i$  为组分  $i$  的逸度系数, 由此得到,  $K_i = y_i/x_i$ , 其中  $K_i$  为平衡常数, 是指体系中  $i$  组分在一定的压力和温度条件下, 当气液两相处于平衡时, 其在气液两相中的摩尔分配比. 大量实验表明,  $K_i$  与温度、压力及体系组成有关, 即  $K_i = (P, T$  体系组成). 在气洗作用中, 过量干气以单相形式混入原始油藏, 打破了系统原始组成下各组分的气液平衡状态. 随着各组分在气、液相中摩尔分数的重新分配, 原油中的各类组分将发生相分馏作用, 造成

气、液相流体组分的变化. Thompson(1987)系统测定了在发生相分馏作用时,气液两相馏分中各组分的变化趋势;发现经分馏作用改造后的残余油在轻烃组分中具有如下特征:

(1)芳构化富集,即芳烃化合物相对于同分子量的正构烷烃富集;(2)正构化富集,即直链烷烃及环烷烃相对于支链异构体富集;(3)链烷烃贫化,即链烷烃含量相对于环烷烃含量减少.而凝析油中的组分变化趋势则与之相反. Thompson 的相分馏实验主要关注原油中轻烃组分( $C_6-C_8$ )在分馏过程的变化特征. 其在实验中所引入的两个参数  $F$  ( $n_{C_7}/MCH$ ,用以表征链烷烃含量的变化)和  $B$  (Toluene/ $n_{C_7}$ ,用以表征芳构化富集的特征),长久以来一直被视为有效识别相分馏过程的标志. 此后,众多学者在各自的研究中也发现了与 Thompson 的实验结果相类似的相分馏效应(Knudsen and Meisingset, 1991; Larter and Mills, 1991; Dzou and Hughes, 1993; Meulbroek *et al.*, 1998; Matyasik *et al.*, 2000; Van Graas *et al.*, 2000; Masterson *et al.*, 2001; Cañipa-Morales *et al.*, 2003; Chang *et al.*, 2007)(图 3).

通过对轮南低凸起原油中  $F$ 、 $B$  参数的统计分析,轮南地区  $C_7$  组分的变化趋势与前人报道的相分馏效应相吻合,残余油较之凝析油具有芳烃富集、链烷烃贫化的特征,有力地证明了轮南地区确实发生

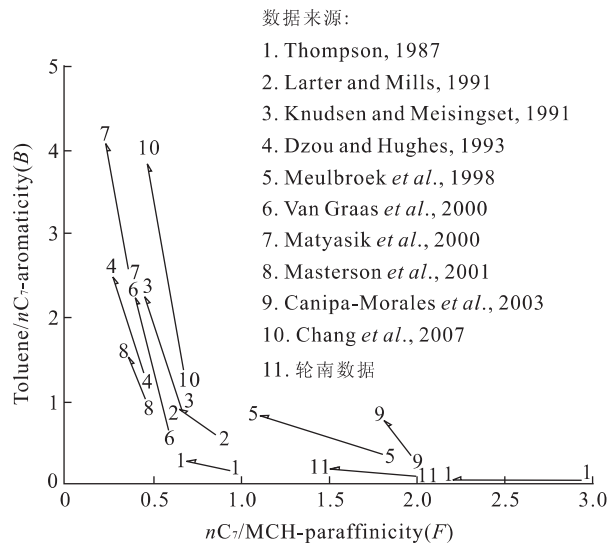


图 3 相分馏作用中组分  $F$ 、 $B$  变化示意图(据 Van Graas *et al.*, 2000, 补充修改;图中箭头方向表示由残余油向凝析油的变化)

Fig. 3 The alternation of index  $F$ ,  $B$  during the phase fractionation

过气洗作用这一事实.

### 3 气洗作用的定量化研究

未遭受次生改造的原油,其原始组成中正构烷烃的摩尔含量与其碳原子数呈指数分布关系(Kissin, 1987),即:

$$MC(n) = WC(n)/MW(n) = A \exp[a \cdot n], \quad (1)$$

式(1)中, $n$ 为碳原子数, $MC(n)$ 表示碳原子数为  $n$  的正构烷烃的摩尔分数, $WC(n)$ 代表其质量分数, $MW(n)$ 是其分子量, $a$ 被定义为斜率因子(Meulbroek *et al.*, 1998), $A$ 是正构化因子.然而在相分馏过程中,受各组分气液平衡常数的影响,低分子量正构烷烃相对于高分子量正构烷烃更容易进入气相中.因此,气洗作用必将导致原油中轻质正构烷烃的大量损失.研究表明,经气洗作用改造后的原油其正构烷烃的分布模式分为两段,高碳数的正构烷烃仍保持原有的指数分布模式,而低碳数的正构烷烃由于蒸发损失而导致了其分布曲线的偏移(图 4).

Losh *et al.* (2002)在对同样遭受气洗作用的 offshore Louisiana 地区的研究中,提出正构烷烃相对蒸发量( $Q$ )的概念,并将  $Q$  值作为定量化地描述气洗作用强度的标志,即:

$$Q = 1 - \left[ \frac{\sum MW_n(\text{气洗作用改造后的原油})}{\sum MW_n(\text{未经气洗作用改造的正常原油})} \right], \quad (2)$$

式(2)中, $Q$ 为正构烷烃相对损失量, $MW_n$ 代表碳

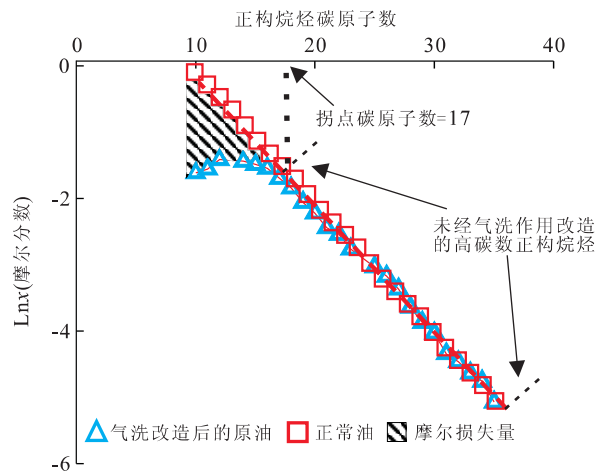


图 4 气洗作用后正构烷烃分布示意图(据 Losh *et al.*, 2002 修改)

Fig. 4 Molar fraction plot, showing depleted and reconstructed  $n$ -alkane profile

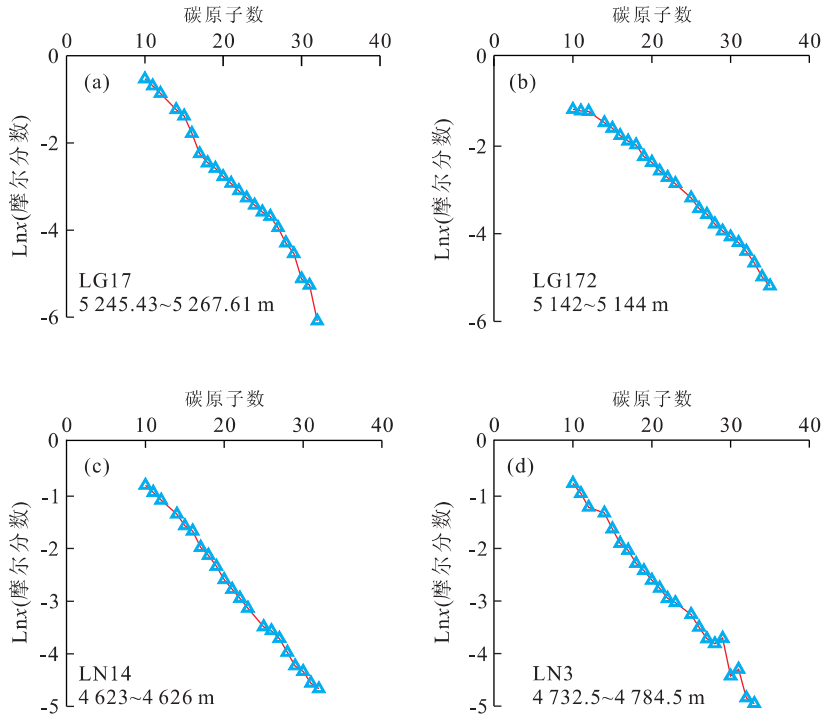


图 5 正常原油中正构烷烃与其碳原子数的分布关系

Fig. 5 Relationship between atomic number of C and oils of no *n*-alkanes depletion of oils in the Triassic and Carboniferous reservoir

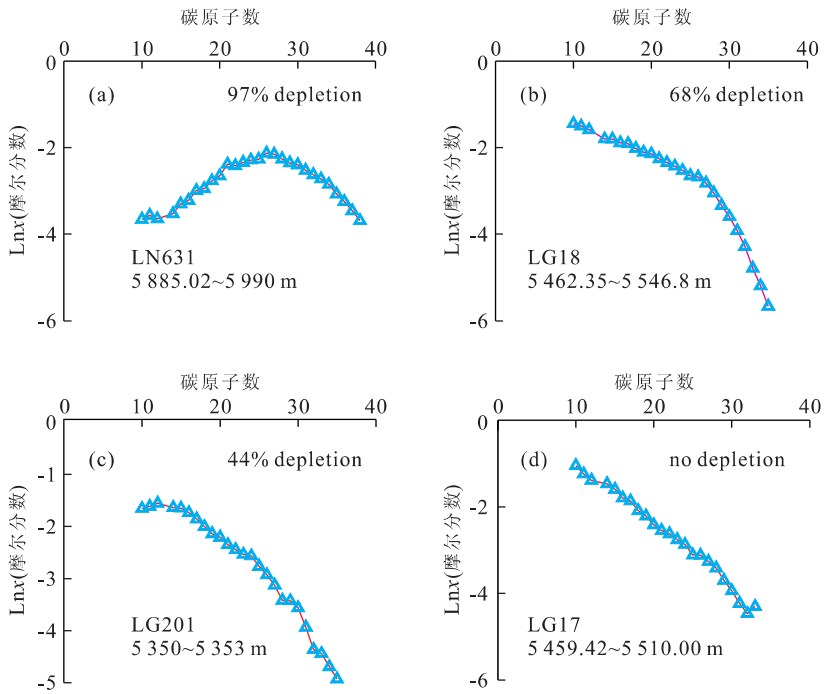


图 6 轮南低凸起原油正构烷烃相对损失量分布(a~d为为由东向西)

Fig. 6 Molar fraction plots of oils from east (a) to west (d) in Lunnan area

原子数为  $n$  的正构烷烃的质量分数。

研究表明,轮南地区原油中正构烷烃分布模式可以分为两类:一类是正常油,其正构烷烃摩尔含量

与其碳原子数呈指数分布关系,表明其未遭受过气洗作用的改造.轮南地区三叠系以及石炭系储层中的原油多为此类原油(图5).另一类是经气洗作用

表 3 轮南低凸起原油气洗作用参数

Table 3 Depths, break numbers, and *n*-alkanes mass depletion fractions for oils in Lunnan area

井名	深度(m)	层位	拐点碳原子数	正构烷烃相对损失量
JF123	4 546.00	T	0	0
JF127	4 548.00	T	0	0
LN44	4 602.00	T	0	0
LN201	4 880.00	T	0	0
LN3	4 732.50	T	0	0
LN14	4 623.00	T	0	0
LN30	4 680.00	T	0	0
LG202	4 858.00	T	0	0
LN204	4 867.00	T	15	0.157
LN62	5 565.00~5 578.00	C	15	0.280
LN209	4 818.00	C	0	0
LG19	5 419.00	C	17	0.250
LG17	5 245.43	C	0	0
LG172	5 142.00	C	0	0
LN631	5 885.02~5 990.00	O	30	0.970
LN621	5 720.80~5 785.00	O	26	0.880
LG13	5 544.00	O	26	0.760
LG18	5 462.35	O	25	0.680
LG201	5 350.00	O	23	0.440
LG101	5 434.00	O	30	0.150
LG2	5 345.40	O	15	0.640
LG202	5 142.00	O	14	0.200
LG100	5 431.17	O	0	0
LG17	5 459.42~5 510.00	O	0	0

改造了的原油,其指数分布模式已遭到破坏,低碳数正构烷烃的分布特征发生了明显的偏移.此类原油分布于奥陶系储层中(表 3,图 6).

图 6 及图 1 系统反映出轮南低凸起由东向西奥陶系储层中正构烷烃相对蒸发量的变化规律.在靠近草湖凹陷的轮古东地区,正构烷烃的相对蒸发量高达 88%~97%,拐点碳原子数为 26~30.位于轮南低凸起中部的轮古 2 井以及轮古 18 井地区,正构烷烃相对蒸发量较小(20%~76%),拐点碳原子数为 14~25.而在更加靠近西部的轮古 17 以及轮古 100 井地区,原油中正构烷烃并未发生损失,为正常油.

## 4 讨论与结论

在复杂的地质条件下,多种后生改造作用均能造成原油正构烷烃的大量损失,如生物降解作用,然而轮南低凸起原油正构烷烃大量损失的现象与生物降解作用无关.气洗作用对于原油的改造是一个链烷烃贫化、芳烃富集的过程,而生物降解作用会导致

包括正构烷烃、环烷烃以及芳烃在内的全油烃组分的整体损失.研究中所选样品全部取自正常油分布区,且生标指纹特征表明,其未经历过生物降解作用的改造.

另一方面,诸如气顶气的逸散、运移分馏作用以及短期的蒸发分馏作用等相分馏过程,其对于原油组分的有效影响区间在  $C_{10}$  以下;鉴于此,在对正构烷烃相对蒸发量的计算中,已经人为屏蔽了  $C_{10}$  以下的烃类.同时,中分子量正构烷烃( $C_9$ - $C_{14}$ )由于逸度较低,只有在储层温压条件接近系统临界状态时,才会导致有效的分馏(Meulbroek *et al.*, 1998).而在轮南地区不仅是中分子量的正构烷烃,甚至高分子量的正构烷烃( $C_{25}$ - $C_{30}$ )亦出现了大量损失的现象.另一方面,气洗作用可以产生高气油比的凝析气藏(Losh *et al.*, 2002),而轮南地区凝析气藏气油比的平均值大于  $5\ 000\ m^3/m^3$ ,这些都说明了气洗作用是导致轮南地区奥陶系原油正构烷烃大量损失的主控因素.

对轮南地区气洗作用的定量化研究表明,三叠系及石炭系的油气藏并未发生气洗作用;气洗作用仅发生于奥陶系储层中,且从轮古东向西气洗作用强度依次减弱;这也直接反映出喜山期来源于草湖凹陷的大量干气的优势运移通道被限制于海西早期运动所形成的奥陶系岩溶缝洞体系中的事实.因此,奥陶系,尤其是位于临近气源区的轮古东地区,是轮南地区气藏的有利靶区.另一方面,奥陶系油藏经相分馏作用后形成大量富含轻质端元的气相馏分,而喜山期的断裂活化作用将这部分气相馏分沿层间断层调整至石炭系储层中聚集成藏,导致了目前轮南主体区石炭系储层多发育凝析气藏.

## References

- Cañipa-Morales, N. K., Galán-Vidal, C. A., Guzmán-Vega, M. A., et al., 2003. Effect of evaporation on  $C_7$  light hydrocarbon parameters. *Organic Geochemistry*, 34(6): 813-826.
- Chang, C. T., Lee, M. R., Lin, L. H., et al., 2007. Application of  $C_7$  hydrocarbons technique to oil and condensate from type III organic matter in northwestern Taiwan. *International Journal of Coal Geology*, 71(1): 103-114.
- Connan, J., Cassou, A. M., 1982. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels. *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 44(1): 1-24.

- Curiale, J. A., Bromley, B. W., 1996. Migration induced compositional changes in oils and condensates of a single field. *Organic Geochemistry*, 24: 1097—1113.
- Dzou, L. I. P., Hughes, W. B., 1993. Geochemistry of oils and condensates, K Field, offshore Taiwan; A case study in migration fractionation. *Organic Geochemistry*, 20 (4): 437—462.
- Gussow, W. C., 1954. Differential entrapment of oil and gas—A fundamental principle. *AAPG Bulletin*, 38(5): 816—853.
- Kissin, Y., 1987. Catagenesis and composition of petroleum; Origin of *n*-alkanes and isoalkanes in petroleum crudes. *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 51(9): 2445—2457.
- Knudsen, K., Meisingset, K. K., 1991. Evaporative fractionation effects for the oils in the Gullfaks South area. In: Manning, D., ed., *Organic geochemistry advances and applications in energy and the natural environment*. Manchester Univ. Press, Manchester, 162—165.
- Larter, S., Mills, N., 1991. Phase-controlled molecular fractionations in migrating petroleum charges. In: England, W. A., Fleet, A. J., eds., *Petroleum migration*. *The Geological Society, London*, 59: 137—147.
- Losh, S., Cathles, L., Meulbroek, P., et al., 2002. Gas washing of oil along a regional transect offshore Louisiana. *Organic Geochemistry*, 33(6): 655—663.
- Masterson, W. D., Dzou, L. I. P., Holba, A. G., et al., 2001. Evidence for biodegradation and evaporative fractionation in West Sak, Kuparuk and Prudhoe Bay field areas, North Slope, Alaska. *Organic Geochemistry*, 32 (3): 411—441.
- Matyasik, I., Steczko, A., Philp, R. P., et al., 2000. Biodegradation and migrational fractionation of oils from the eastern Carpathians, Poland. *Organic Geochemistry*, 31 (2): 1509—1523.
- Meulbroek, P., 2002. Equations of state in exploration. *Organic Geochemistry*, 33(6): 613—634.
- Meulbroek, P., Cathles, L., Whelan, J., et al., 1998. Phase fractionation at South Eugene Island Block 330. *Organic Geochemistry*, 29(1—3): 223—239.
- Nessenbaum, A., Goldberg, M., Aizenshtat, Z., et al., 1985. Immature condensate from southeastern Mediterranean coastal plain, Israel. *AAPG Bulletin*, 69: 946—949.
- Silverman, S. R., 1963. Migration and segregation of oil and gas. *AAPG Bulletin*, 47(12): 2075—2076.
- Snowdon, L. R., Powell, T. G., 1982. Immature oil and condensate; Modification of hydrocarbon generation model for terrestrial organic matter. *AAPG Bulletin*, 66: 775—788.
- Thompson, K. F. M., 1987. Fractionated aromatic petroleum and the generation of gas-condensates. *Organic Geochemistry*, 11(6): 573—590.
- Thompson, K. F. M., 1988. Gas-condensates migration and oil fractionation in deltaic systems. *Marine and Petroleum Geology*, 5(3): 237—246.
- Van Graas, G. W., Gilje, A. E., Isom, T. P., et al., 2000. The effects of phase fractionation on the composition of oils, condensates and gases. *Organic Geochemistry*, 31(12): 1419—1439.
- Zhuze, T. P., Ushakova, G. S., Yushkevich, G. N., et al., 1962. The influence of high pressures and temperatures on the content and properties of condensate in the gas phase of gas-oil deposits. *Geochemistry*, 8: 797—806.
- Zhuze, T. P., Yushkevich, G. N., Ushakova, G. S., et al., 1963. Use of phase composition data in the system oil-gas at high pressures for ascertaining the genesis of some pools. *Petroleum Geology*, 7: 186—191.