

# 油藏非均质性及聚油史初探

朱扬明 张 敏 徐中一

(江汉石油学院, 湖北荆沙 434102)

本文利用热解和热蒸发气相色谱分析技术,研究了塔里木轮南油田三叠系油藏剖面上储层的含油性和原油组成变化,发现低孔渗层段油砂的含油性低,原油的成熟度较低,正烷烃呈前峰型分布;高孔渗层段含油性高,原油成熟度较高,正烷烃呈后峰型分布;孔渗中等的油砂中含油性和原油组成性质介于两者之间。油藏中不同孔渗层段的这种原油组成非均质性能反映油藏的聚油史。

**关键词** 油藏非均质性 聚油史 油砂热解 热蒸发气相色谱

**第一作者简介** 朱扬明 男 42岁 副教授 有机地球化学

油藏内部存在的石油组成的变化,一般认为是由于生物降解和水洗等地球化学作用或重力分异作用所致。随着研究的深入,国外许多学者认为,除上述因素外,油藏中石油组成的非均质性可能是烃源岩有机相和成熟度不同而造成的(Legthaeuser 等,1989;Hwang 等,1994)。由于在储集层中不同原油之间的混合过程缓慢,它们组成的不同性可被保存下来。这样,通过对油藏剖面上原油宏观和分子组成非均质性的系统研究,可确定原油运移途径和成藏机制,并以此判断油源区及烃源岩有机质的类型、成熟度。

## 1 样品和实验方法

本文所分析的样品为轮南油田 LN14、LN22 等井三叠系含油砂岩岩心样(每隔约 0.5m 取一样)。为防止岩样中所含原油的轻组份在放置过程中逸散,取样后,及时进行了热解和热蒸发气相色谱分析。

### 1.1 热解分析

热解分析所用仪器为油气显示分析仪(Rock-eval III)。分析方法和流程与一般生油岩样品分析相同,但所测得的参数地化意义完全不同。对于油砂热解分析,所测得的  $S_0$  为  $C_1-C_7$  气态烃化合物,是储集岩中储集的天然气的; $S_1$  为  $C_7-C_{33}$  液态烃化合物,是储集岩中所含原油的轻质组份; $S_2$  代表原油的  $C_{33}-C_{40}$  重质烃化合物和部分胶质、沥青质的热解烃; $P_g$ (热解含油率)是  $S_0$ 、 $S_1$  和  $S_2$  之和,代表储层中的可动油量,是储集岩含油性的量度。其它的热解参数也与生油岩有不同的含义。

### 1.2 热蒸发气相色谱分析

热蒸发气相色谱分析是用气相色谱仪进样器上连接一个热蒸发装置完成的。所用仪器为美国 Varian 公司生产的 SP3400 气相色谱仪,色谱柱为  $25m \times 0.25mm$  的 SE-54 石英弹性毛细管柱,氮气作载气。

分析时,将油砂样粉碎过筛(100目),根据含油性称适量样品用铝箔纸包好,置于石英玻璃管内,放在热蒸发装置内。300℃左右加热0.5分钟,通入载气使蒸发烃进入柱头用液氮冷却冷聚。然后启动气相色谱仪的升温程序使之在色谱柱内得到分离,经记录仪检测记录,便可得到油砂中所含原油的全烃色谱图。

## 2 油藏中储层含油的非均质性

油藏剖面中的油砂热解分析结果表明,油藏内部的储层的含油性和组成变化很大,且不均匀。塔里木盆地LN14井三叠系油层就是一个实例(图1)。这个油层上段4610.2~4617.8m细砂岩层段的热解Pg值大都在4~20kg/t之间,显示出含油性有较大的变化范围;中段4618.2~4621.5m粉砂岩层段的含油性很低,Pg值只有0.25~0.39kg/t;下段4623.4~4625.8m的粗砂岩层段的含油性很高,Pg值大都在20kg/t以上。这说明在一个连续油层中储层含油性随岩石性质的不同而出现明显的变化。

从图1中可看出,油层的这种含油非均质性主要与储层的孔隙度和渗透率有关。在总体上看,油砂的热解含油率和孔隙度、渗透率有较好的相关关系。孔隙度大、渗透率高的层段含油性高;反之,孔隙度小、渗透率低的层段含油性低。同时也可注意到,在一定孔隙度的情况下,渗透率往往是含油性的决定因素。如该井4618.2~4621.5m的粉砂岩层段,其孔隙度不算很低,也达到了11.15%~19.72%,但由于渗透率低( $6.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 58.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,该数据由PK快速分析仪所测,可能偏高),孔隙的毛细管排替压力大,原油难以进入,所以该层段储岩含油极少。在其它层段也可发现,孔隙度相近的样品中,其含油率随渗透率的高低而有所变化,说明储岩的含油性一方面与岩石中的储集空间有关,另一方面受岩石孔隙毛细管的排替压力控制。

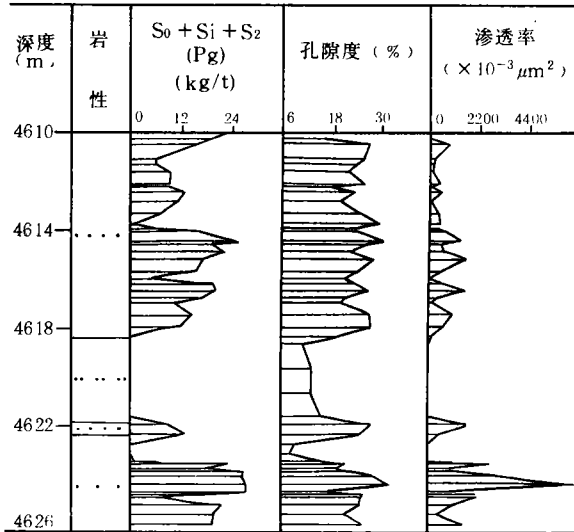


图1 LN14井三叠系油层含油性与孔隙度、渗透率的关系

## 3 油藏中的原油组成非均质性

### 3.1 正烷烃分布

根据热解分析数据和孔隙度、渗透率资料,在LN22井三叠系油层剖面上选择了一批具不同含油性和孔渗的油砂进行热蒸发气相色谱分析。结果表明,该井4448.9~4462.7m(I油组)层段油砂有下面3种色谱分布形式。(1)前峰型:4457.15m样品碳数分布范围为 $C_{13} - C_{36}$ ,正烷烃呈前峰型分布(图2,a),主峰碳数低,为 $C_{17}$ ;在 $C_{15} - C_{19}$ 范围尚可见奇偶优势,可

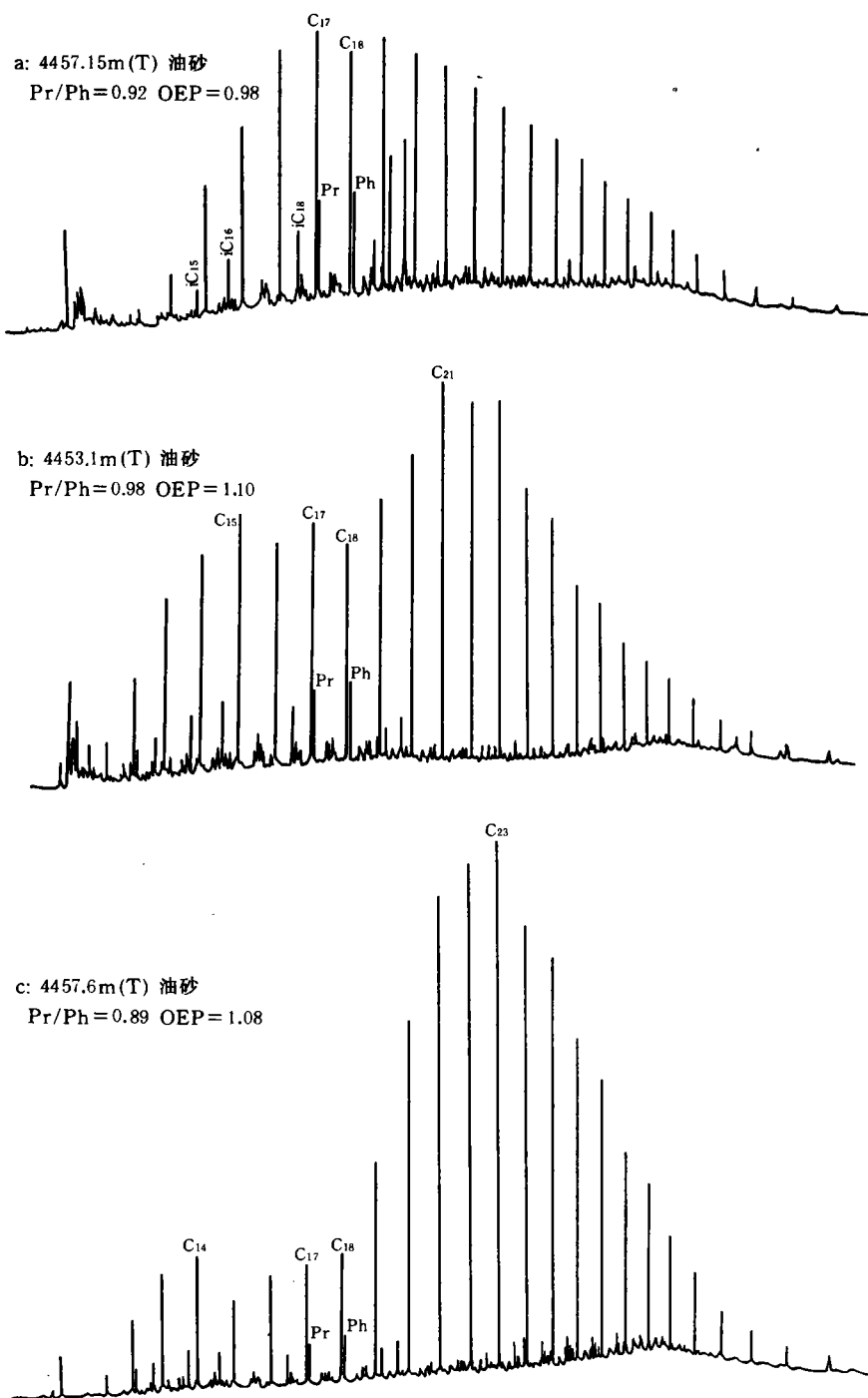


图 2 LN22 井三叠系油砂热蒸发气相色谱图

能来自藻类有机质;高碳数正烷烃无奇偶优势,OEP为0.98,其Pr/Ph为0.92,表明来源于还原环境中的成油母质。(2)后峰型:以4457.6m样品为代表,其碳数分布范围为 $C_{12}-C_{36}$ ,呈后峰型分布(图2,c);低碳数化合物少,高碳数正烷烃含量高,主峰碳数在 $C_{23}$ ;高碳数正烷烃稍具奇偶优势,OEP值为1.08。它的Pr/Ph为0.89,与前者相差不多。(3)双峰型:如图2(b)所示,碳数分布范围为 $C_{11}-C_{35}$ ;正烷烃分布呈双峰型,后峰群略占优势,主峰碳数分别在 $C_{15}$ 和 $C_{22}$ ;在 $C_{15}-C_{19}$ 范围存在奇偶优势;高碳数正烷烃也稍具奇偶优势,OEP值为1.10,与前者相当。它的Pr/Ph为0.98。可见其色谱分布兼有前面两种类型的特征。

油砂中的这3种色谱分布与其含油性和岩石物性有对应关系。具前峰型分布的油砂岩性为细砂岩,热解含油率较低,一般 $S_i < 6\text{kg/t}$ , $P_g < 8\text{kg/t}$ ,属油斑—油浸级油砂。它们的孔渗较差,如4457.15m样品的孔隙度为17.52%,渗透率仅 $3.87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。具后峰型分布的油砂热解 $P_g$ 值最高,高于 $15\text{kg/t}$ , $S_i$ 在 $12\text{kg/t}$ 以上,属含油—饱和含油级油砂。其岩性为中砂岩,孔渗好,如4457.6m油砂的孔隙度为23.60%,渗透率为 $453.76 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。呈双峰型分布的油砂含油性和岩石物性介于两者之间。如4453.1m样品的 $S_i$ 和 $P_g$ 值分别为 $9.18\text{kg/t}$ 和 $11.21\text{kg/t}$ ;孔隙度和渗透率分别为19.01%和 $16.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这说明储集岩的孔隙度和渗透率不但影响含油性,还与原油的组成直接有关。

国外文献报道中有许多油藏不同孔渗层段油砂的正烷烃中也有类似的分布情况。Th. Schwarzkopf(1990)在德国北部Gifhorn Trough的中侏罗统油藏发现,在高孔渗高含油的油砂抽提物中,正烷烃呈平滑型分布,随碳数( $>C_{15}$ )增加正烷烃含量缓慢下降;而在碳酸盐胶结的低孔渗样品中,正烷烃以低碳数为主( $<nC_{17}$ ),高于 $C_{18}$ 的正烷烃含量陡然下降。他认为这种差别可能由两期不同的烃运移史造成。早期进来的原油是由Ⅲ型有机质产的未成熟凝析油,其中一部分被碳酸盐胶结层所捕获;后来运移进来的原油为正常的成熟原油,占据了孔渗好的砂岩段。但在塔里木盆地的这个油层中情况不同。上述油砂本身的色谱特征和生物标志物分布表明,该油层原油为海相油,可能来自下古生界奥陶—寒武系生油层。众所周知,这种腐泥型有机质不能产未熟凝析油。这些油砂之间正烷烃分布上的差别可能是烃源岩不同产烃期所产的油先后注入而造成,或是不同油源的原油在油藏中混合所致。

### 3.2 成熟度变化

在热蒸发气相色谱分析的基础上,选取了4457.15m( $S_i=5.71\text{kg/t}$ )和4457.60m( $S_i=14.31\text{kg/t}$ )两个色谱分布分别呈前峰型和后峰型的油砂进行饱和烃的色质分析。结果表明,两个样品的生物标志物的分布和组成无明显差别,说明它们可能来自同层生油岩。但它们的甾烷异构化率有较明显的不同(图3)。在 $m/z217$ 质量色谱图上,4457.15m样品的 $C_{29}\alpha\alpha\alpha S$ 峰低于 $C_{29}\alpha\alpha\alpha R$ 峰, $C_{29}S/(S+R)$ 比值为0.47;而4457.60m样品的 $C_{29}\alpha\alpha\alpha S$ 峰高于 $C_{29}\alpha\alpha\alpha R$ 峰, $C_{29}S/(S+R)$ 比值为0.51;表明后者的成熟度高一些。考虑到原油之间存在部分混合效应,实际的成熟度差异可能更大。

要指出的是,甾烷异构化程度表征的成熟度差别与相应的正烷烃公布模式不相一致。一般认为随演化程度增加,原油中正烷烃的低碳数化合物变多,主峰碳数前移。而这两个样品的正烷烃却呈相反的分布。这可能与烃源岩在不同演化阶段产不同的正烷烃有关。据热模

拟实验结果表明,有机质在较高演化阶段能产较多的高碳数正烷烃<sup>①</sup>。至于高碳数奇偶优势的矛盾现象也可能与这种产烃机理有关,是一种“逆转”现象。

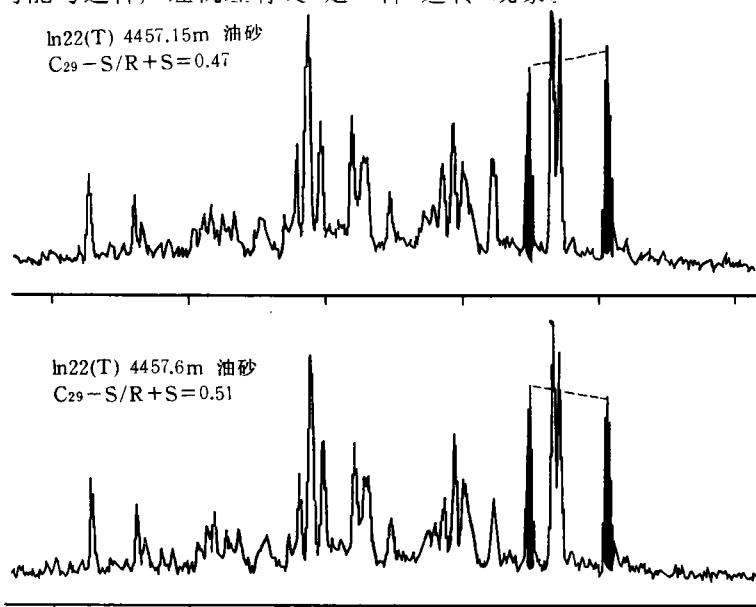


图 3 LN22 井三叠系油砂  $m/z217$  质量色谱图

#### 4 原油成藏聚史初探

Hwang 等(1994)认为油藏中原油的组成受油藏圈闭大小与油源供给量多少的相对比例控制。如果圈闭小而油源量充足,那末油源层一次排烃就足以灌满整个圈闭,这样的油藏中原油组成一致。相反,大的圈闭则能接受烃源岩的多期或多种油源,这样在不同层段原油中就显示出组成的变化。一般来说,圈闭高点的原油为早期成熟度较低的原油,油藏底部为后期成熟度较高的原油。对于孔渗变化较大的储层,低孔渗段中为早期原油,高孔渗段中为后期原油。

油藏中不同原油之间的混合主要通过扩散和对流作用。有研究表明,在油藏中的这种混合作用极为缓慢,使得不同储集层段中的原油从烃源岩中继承来的组成和成熟度特征被保存下来。通过油藏内纵向和横向上的原油宏观和分子组成非均质性研究,可重建油藏的聚油史。

塔里木盆地 LN22 井三叠系油层中不同孔渗油砂的上述正烷烃分布和成熟度变化,反映出该油藏的聚油史。可认为该油藏圈闭形成之后的某个地质时间内,盆地中的下古生界烃源层达到成熟阶段,排出的原油运移进藏,首先占据了排替压力较小孔渗高的储集层段。然后,随着地层埋深增加,烃源层演化程度不断变高,又继续产烃(也可能是二次产烃),当产烃量积累到一定程度时又开始排烃,向油藏运移进成熟度更高的原油。后期原油进藏后由于油

① 刘宝泉等. 高成熟—过成熟生油层原始有机质丰度、生烃潜力的恢复及生油层下限值的确定. 国家“八五”重点科技攻关研究报告, 1994

柱增高,浮力增大,超过了低孔渗层段的进孔压力,使原来储于高孔渗层段中的早期原油被驱替进邻进的低孔渗层段(Hillebrand等,1992);而后期原油取而代之占据了高孔渗层段;在中等孔渗层段中则出现两种原油的混合。这样,在这个油层不同孔渗油砂样品中就产生上述组成的变化。

## 5 结 语

塔里木轮南油田三叠系油层油砂的热解和热蒸发气相色谱分析结果表明,油藏内不同孔渗的储岩段中存在含油性和原油组成非均质性的变化。

(1)高孔渗层段的含油性高,所含原油正烷烃呈后峰型分布,成熟度较高;低孔渗层段含油性低,正烷烃呈前峰型分布,成熟度较低;孔渗中等的层段中含油性和原油性质介于两者之间,其正烷烃呈双峰型分布。

(2)油藏内不同孔渗层段中原油组成和成熟度的变化,可揭示油藏的聚油史。

(收稿日期:1995年2月13日)

### 参 考 文 献

- 1 Leythaeuser D and Ruckheim J. Heterogeneity of oil composition within a reservoir as a reflection of accumulation history. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989,53:2119~2123
- 2 Hwang J R, Ahmed A S and Moldowan J M. Oil composition variation and reservoir continuity, Unity Field, Sudan. *Org. Geochem.*, 1994,21(2):171~188
- 3 Schwarzkopf Th. Relationship between petroleum generation, migration and sandstone diagenesis, Middle Jurassic, Gifhorn Trough, N Germany. *Marine and Petroleum Geology*, 1990,7:153~170
- 4 Hillebrand T and Leythaeuser D. Reservoir geochemistry of Stockstadt oilfield; compositional heterogeneities reflecting accumulation history and multiple source input. *Org. Geochem.*, 1992,19(1~3):119~131

## PRELIMINARY APPROACH TO COMPOSITIONAL HETEROGENEITY AND ACCUMULATION HISTORY OF RESERVOIR

Zhu Yangming Zhang Min Xu Zhongyi

(Jianghai Petroleum Institute)

### Abstract

Applying the techniques of pyrolysis and thermal extraction, the variations of oil content and composition in the Triassic reservoir of Lunnan oilfield, the Tarim Basin, are studied in this paper. It has been found that the intervals with low porosity and permeability have a low content of oil, and less matured, and its distribution of n-alkane is predo-

(下转 133 页)

合,如果中生界底部泥质岩发育,则能形成很好的地层圈闭,但很可能以气为主。

(3)受志留—泥盆系盖层保护,拗陷内下古生界自生自储式油气藏应引起足够重视。

(4)对比准噶尔盆地、三塘湖盆地、吐哈盆地,应加强英吉苏拗陷侏罗系的研究,以期有新的建树。

(5)受资料质量和勘探方法的限制,目前不宜上过多的勘探工作量。

(收稿日期:1994年11月19日)

## PETROLEUM GEOLOGIC CONDITIONS OF MANJIAER DEPRESSION OF THE TARIM BASIN, AND EXPLORATION COUNTERMEASURES— — DISCUSSED FROM WELL MAN NO. 1 BEING NOT MET WITH OIL

He Faqi Li Gengyuan Yang Shusheng

(Northwest China Bureau of Petroleum Geology, MGMR, Urumqi 830011)

### Abstract

The paper analyses about the characteristics of source rocks and trapping conditions in well Man No. 1, and discusses further about petroleum geologic conditions of the Manjiaer depression relating to oil/gas migration and traps. Lastly, it suggests the countermeasures adoptable for exploration.

(上接 167 页)

minated by a front peak; while the intervals with high porosity and permeability contain more and matured oil with a predominance of higher carbon number n-alkanes; the petroliferousness and composition of oil from intervals with middle porosity and permeability range from the two above. The oil compositional heterogeneities of intervals with different porosities and permeabilities within a reservoir may reflect its accumulative history.