

文章编号 :1000-0550(2001)04-0598-07

# 三塘湖盆地低熟油的发现及其地球化学特征

王志勇<sup>1</sup> 卫延召<sup>2</sup> 赵长毅<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>吐哈油田分公司研究院 新疆哈密 839009)(<sup>2</sup>中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 三塘湖盆地目前所发现的原油的  $C_{29}$  甾烷  $20S/(20S+20R)$  值大部分小于 0.42, 属于低(未)熟油的范畴。与国内外报道的低熟油相比, 三塘湖盆地物性特征也具有高密度、高粘度及高含蜡量等特征, 但其物性偏好。经油源分析, 这些低熟油主要来源于上二叠统芦草沟组。该组烃源岩演化程度较低, 有机质丰度较高, 属较好生油岩。通过有机显微组分分析, 发现芦草沟组烃源岩以富含腐泥无定形富氢显微组分而有别于三塘湖盆地其它低熟源岩。经热解分析, 腐泥无定形是芦草沟组烃源岩主要生烃贡献者, 并且其主生烃期  $R_o$  在 0.35%~0.6% 之间。因此, 腐泥无定形低熟生烃是三塘湖盆地低熟油的主要生烃机制。另外, 在三塘湖盆地原油以及芦草沟组源岩中都检测到  $17\alpha(H)-25-$ 降霍烷系列化合物, 说明三塘湖盆地的低熟油可能与陆源有机质细菌降解改造作用有关。

**关键词** 三塘湖盆地 芦草沟组 低熟油 显微组分 腐泥无定形

**第一作者简介** 王志勇 男 1966 年出生 工程师 有机地球化学

**中图分类号** P618.130.1 P593 **文献标识码** A

## 1 引言

长期以来, 法国著名地球化学家蒂索等提出的“干酪根晚期热降解作用生烃”理论一直是指导油气勘探的主流<sup>[1]</sup>, 然而, 国内外油气勘探实践和油气成因理论研究均证实, 自然界确实还存在着一定数量的烃源岩在未熟到低熟阶段生成的非常规油气资源。在国际深海钻探计划(DSDP)执行过程中, 曾在个别钻孔中岩芯中发现有未成熟石油的存在<sup>[2-4]</sup>。近二十年来, 国内外均有陆续发现低熟油气的报道, 对低熟油气的研究也取得了许多重要的成果<sup>[5]</sup>。我国地球化学界对低熟油的认识和研究始于 80 年代初。史继杨、黄第藩、廖前进等综合了大港、胜利、辽河、泌阳、江汉和百色等油田未熟、低成熟油地球化学特征, 按照甾烷成熟度参数将未熟、低熟油区分为两类, 即未熟原油,  $C_{29}$  甾烷  $20S/(20S+20R)$  值  $< 0.25$ ,  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\beta\beta/(aaa + \alpha\beta\beta) < 0.2$ ; 低熟原油,  $C_{29}$  甾烷  $20S/(20S+20R)$  值为  $0.25 \sim 0.42$ ,  $C_{29}$  甾烷  $\alpha\beta\beta/(aaa + \alpha\beta\beta)$  值为  $0.20 \sim 0.40$ , 并认为在未成熟油和低熟油的成因上, 可溶有机质(胶质+沥青质)是比干酪根更为直接的母源物质<sup>[6-9]</sup>。此外, 在临河坳陷、百色盆地、泌阳凹陷、东濮凹陷、黄骅坳陷、辽河坳陷、吉林伊通地堑、松辽盆地、柴达木盆地以及准噶尔盆地等地区均有发现低熟油的报道<sup>[10-18]</sup>。目前, 已有大量证据表明, 三塘湖盆地所发现的原油大部分属于低熟油。本文结合盆地石油地质

背景, 在烃源岩和原油地球化学和生物标记物特征研究和油源对比的基础上, 论证了低熟油的存在, 并通过烃源岩有机显微组分生烃性质的剖析, 论述了低熟油的生成机理。

## 2 石油地质背景

### 2.1 构造背景

三塘湖盆地位于新疆维吾尔自治区东北部, 面积约为  $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 地理上为一山间盆地, 位于阿尔泰褶皱系与北天山褶皱系之间, 呈北西—南东向带状展布, 南邻吐哈盆地, 西邻准噶尔盆地, 是在早古生代基底上发展起来的叠合型盆地。盆地内中生界为一套煤系地层, 上古生界为一套火山岩、火山碎屑岩和湖相沉积, 并夹薄煤层。在塘参 1 井侏罗系西山窑组首获商业油流之后, 又在条 2 井、条 3 井和塘参 3 井的侏罗系和二叠系见到了大量油气显示。油气勘探实践证明三塘湖盆地是一潜力很大的含油气盆地。

### 2.2 烃源岩地球化学

#### 2.2.1 烃源岩有机质丰度及类型

三塘湖盆地目前发现油藏的主力烃源岩为中上三叠统、上二叠统芦草沟组及石炭系至下二叠统。从表 1 可以看出, 从有机碳含量、氯仿沥青“ A ”、总烃、生烃潜量判断, 芦草沟组 ( $P_2l$ ) 烃源岩基本达到好生油岩标准, 而条湖组 ( $P_2t$ ) 泥岩、泥灰岩从有机碳含量指标来看属好生油岩范畴, 但其氯仿沥青“ A ”、总烃、生烃潜

表 1 三塘湖盆地上二叠统有机质丰度评价

Table 1 The organic abundance of the Upper Permian source rocks in the Santanghu basin

| 井号     | 层位               | 岩性  | Toc<br>/% | "A"<br>/% | HC/ $\times 10^{-6}$ | S1 + S2<br>/mg·g <sup>-1</sup> | 评价  |
|--------|------------------|-----|-----------|-----------|----------------------|--------------------------------|-----|
| 马 6 井  | P <sub>2</sub> l | 泥岩  | 2.86      | 0.01      | 89                   | 1.11                           | 差—非 |
| 马 7 井  | P <sub>2</sub> l | 泥岩  | 2.21      | 0.0276    | 184                  | 0.4                            | 差—非 |
| 塘参 3 井 | P <sub>2</sub> l | 泥灰岩 | 5.10      | 0.0459    | 143                  | 1.39                           | 差—非 |
| 马 1 井  | P <sub>2</sub> l | 泥岩  | 1.53      | 0.2034    | 1685                 | 2.67                           | 好   |
| 马 5 井  | P <sub>2</sub> l | 泥岩  | 5.68      | 0.2661    | 1877                 | 16.70                          | 好   |
| 马 6 井  | P <sub>2</sub> l | 泥岩  | 2.97      | 0.1900    | 1410                 | 4.78                           | 好   |
| 马 7 井  | P <sub>2</sub> l | 泥岩  | 5.77      | 0.0237    | 157                  | 11.85                          | 差—中 |
| 塘参 3 井 | P <sub>2</sub> l | 泥灰岩 | 3.14      | 0.0684    | 246                  | 14.35                          | 差—中 |
|        |                  | 泥灰岩 | 4.49      | 0.2406    | 1000                 | 29.02                          | 好   |

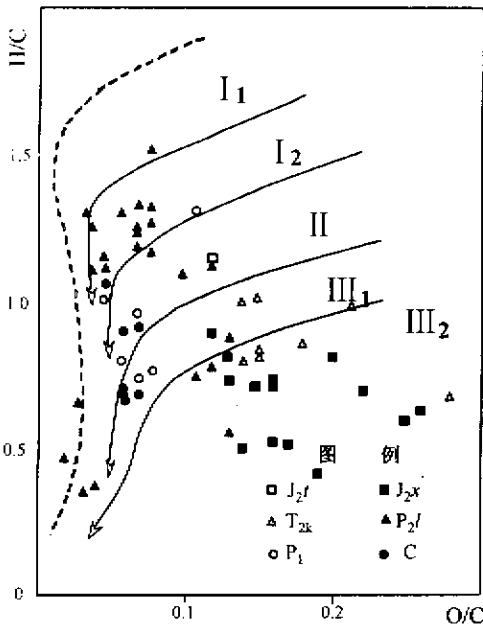


图 1 三塘湖盆地干酪根元素组成范氏图

Fig.1 The Van Krevelen diagram of kerogen elements in the Santanghu basin

量等指标均属非生油岩范畴。上三叠统暗色泥岩有机碳平均为 1.08%，氯仿沥青“A”为 0.049 8%，总烃为 133 ppm，生烃潜量为 0.54 mg/g，属较好生油岩。中三叠统克拉玛依组暗色泥岩有机碳 1.82%，生烃潜量 1.66 mg/g，属好生油岩；碳质泥岩有机碳平均含量 10.39%，生烃潜量 30.01 mg/g，属好生油岩；总体来看，中三叠统烃源岩好于上三叠统烃源岩。下二叠统一石炭系部分暗色泥岩达到好生油岩范畴，只是其发育厚度较小，总生烃量有限。

图 1 是三塘湖盆地烃源岩干酪根元素组成范氏图。从图可以看出，中侏罗统西山窑组(J<sub>2x</sub>)烃源岩有机质类型为Ⅲ<sub>1</sub>—Ⅲ<sub>2</sub>型，中上三叠统烃源岩有机质类型为Ⅱ—Ⅲ<sub>1</sub>型，上二叠统芦草沟组烃源岩有机质类型为Ⅰ—Ⅱ<sub>2</sub>型，下二叠统卡拉岗组(P<sub>1k</sub>)及石炭系烃

源岩有机质干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ<sub>1</sub>型。

### 2.2.2 烃源岩有机质热演化特征

三塘湖盆地主力烃源岩上二叠统芦草沟组(P<sub>2</sub>l)主要为一套淡水—半咸水湖相沉积的泥岩、泥灰岩和凝灰质泥岩，而中上三叠统的郝家沟组(T<sub>3h</sub>)、黄山街组(T<sub>3hs</sub>)和克拉玛依组(T<sub>2k</sub>)主要为一套湖沼相、河沼相沉积的泥岩、碳质泥岩和煤岩。烃源岩有机质演化程度见表 2。从表 2 可以看出，三塘湖盆地主力烃源岩有机质热演化程度普遍较低。尽管盆地内火山活动频繁，但多为浅成岩体，其影响有机质热演化的范围比较有限。总的来看，侏罗系有机质成熟度低，仅条湖凹陷中央部分进入生烃门限。中上三叠统烃源岩有机质演化程度最高分布在条湖凹陷中心的塘参 1 井至条 2 井之间，R<sub>0</sub> 最高可达 0.85%，而马朗凹陷烃源岩有机质大部分尚未进入生烃门限，其 R<sub>0</sub> 值多在 0.5% 左右。整个盆地中上三叠统烃源岩有机质演化程度存在西高东低的趋势。上二叠统芦草沟组烃源岩有机质热演化程度大多在 R<sub>0</sub> 为 0.6% ~ 0.75% 范围，总体呈现一个低成熟的面貌。

## 3 低熟油的物理化学性质

### 3.1 低熟油物性特征

我国目前已知的低熟油，在物理性质上既呈现出一定的共性，同时，由于各自特殊的形成条件，也具有各自的特性。三塘湖盆地低熟油的物性整体上同我国其它地区的低熟油相似，具高密度、高粘度及高含蜡量等特征。但三塘湖盆地的低熟油又有自己的特点，物性略偏好，其各项指标见表 3。

### 3.2 低熟原油的生物标志特征

同成熟原油相比，低熟油饱和烃馏分的烃类组成及各类化合物的分布形式有其独特性，三塘湖盆地的

表 2 三塘湖盆地主力烃源岩有机质热演化程度 ( $R_o$ %) 简表Table 2 The organic maturity ( $R_o$ ) of the potential source rocks in the Santanghu basin

| 层位<br>井号         | 塘参 1     | 条 3 井    | 塘浅 3 | 条 2      | 塘参 3    | 马 5  | 马 6      | 马 7  | 塘浅 1 | 塘浅 7 |
|------------------|----------|----------|------|----------|---------|------|----------|------|------|------|
| T <sub>2-3</sub> | 0.6~0.85 | 0.5~0.55 | 0.55 | 0.55~0.7 | 0.5~0.6 | /    | 0.55     | 0.55 | 0.5  | 0.45 |
| P <sub>2l</sub>  | /        | 0.6~0.75 | /    | /        | 0.75    | 0.75 | 0.6~0.75 | 0.70 | /    | /    |

表 3 三塘湖盆地低熟油与我国已知低熟油物理化学参数

Table 3 The physichemical parameters of the Santanghu low mature oils and those of the Chines known low mature oils

| 地区<br>(盆地)    | 井位      | 层位                             | 密度<br>/g·cm <sup>-3</sup> | 粘度<br>/mPa·s | 凝固点<br>/°C | 含硫<br>/% | 含蜡/%  | C <sub>20</sub> 20S/<br>(20R+20S) |
|---------------|---------|--------------------------------|---------------------------|--------------|------------|----------|-------|-----------------------------------|
| 苏北油田          | 安 2 井   | E                              | 0.9043                    | 618.5        | 39         | /        | /     | 0.16                              |
|               | 李 1 井   | E                              | 1.8915                    | 192.2        | 36         | /        | /     | 0.2                               |
| 大港油田          | 板深 56 井 | E                              | 0.84                      | 3.2          | 24         | /        | 27.78 | 0.37                              |
|               | 塘 20 井  | E                              | 0.91                      | 198          | 24         | 0.22     | 9.8   | 0.24                              |
| 松辽盆地<br>黑帝庙地区 |         | K                              | 0.8274                    | 5~6.81       | 26.5       | 27.75    | 0.23  |                                   |
| 泌阳凹陷          | 泌 103 井 | E                              | 0.9116                    | 1446.9       | 37         | 0.74     | 8.39  | 0.18                              |
| 胜利油田          | 义 20 井  | E                              | 0.8728                    | 33.9         | /          | /        | /     | 0.19                              |
| 江汉油田          | 广 33 井  | E                              | 0.8822                    | 43.6         | /          | 2.93     | 22    | 0.24                              |
| 中原油田          | W40 井   | E                              | 0.9179                    | 1236.8       | /          | 0.85     | /     | 0.19                              |
|               | W197 井  | E                              | 0.9445                    | 3211         | /          | 1.52     | 1.78  | 0.21                              |
| 辽河油田          |         | E                              | 0.947                     | 2055         | 11         | /        | 4.87  | 0.25                              |
| 百色盆地          | 百 30 井  | E                              | 0.8867                    | /            | 36         | 0.31     | 28.94 | 0.28                              |
| 三塘湖盆地         |         | J <sub>2</sub> 、P <sub>2</sub> | 0.885                     | 140          | 15.1       |          | 10.28 | 0.31                              |

低熟油也不例外。

### (1) 甾烷类特征

低熟油甾烷组成的共同特征是重排甾烷含量低,生物构型 20R—甾烷和 5 $\beta$ (H)—一类甾烷(C<sub>29</sub>)丰度高,而地质构型 20S—甾烷和 5 $\alpha$ (H)14 $\beta$ (H)17 $\beta$ (H)异构甾烷丰度低,其中 C<sub>29</sub>20S/(20S+20R)值 < 0.4。三塘湖盆地低熟油中规则甾烷 C<sub>27</sub>、C<sub>28</sub>、C<sub>29</sub>呈上升型分布,重排甾烷含量低,生物构型 20R—甾烷丰度远远大于地质构型 20S—甾烷,其中 C<sub>29</sub>20S/(20S+20R) < 0.4。根据黄第藩等按照甾烷成熟度参数对未、低熟油的分类,即 C<sub>29</sub>甾烷 20S/(20S+20R)值 < 0.25 为未熟油,而 C<sub>29</sub>甾烷 20S/(20S+20R)值为 0.25~0.42 的为低熟油<sup>[5-9]</sup>,三塘湖盆地目前所发现的油藏油田的原油大多属于低熟原油范畴(图 2)。

### (2) 单甲基支链烷烃

单甲基取代的支链烷烃在低熟油饱和烃中普遍存在,其中包括异构(2-甲基)反异构(3-甲基)和中间取代的支链烃,它们具有与正烷烃相似的碳数分布范围,

三塘湖盆地低熟原油中普遍发育单甲基支链烷烃。从饱和烃气相色谱图中明显可以看出,原油遭受了生物降解。单甲基支链烷烃在细菌<sup>[19]</sup>及高等植物中普遍存在,但细菌生源的单甲基支链烷烃不具有奇偶碳数优势。目前我国低熟油研究结果表明,这一类单甲基

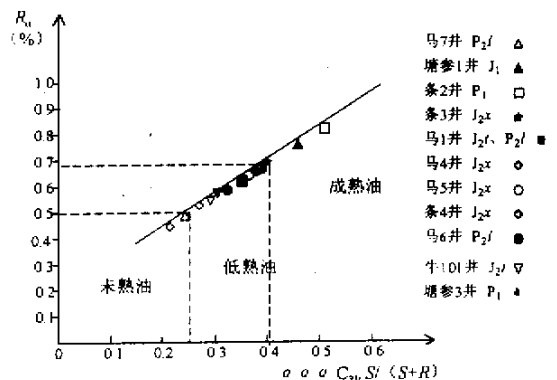


图 2 三塘湖盆地原油成熟度

Fig. 2 The crude oil maturity in the Santanghu basin

支链烷烃大多属于细菌蜡生源<sup>[5]</sup>。

(3) 环状萜烷类

倍半萜烷类 :C<sub>14</sub> ~ C<sub>16</sub> 补身烷系列是一类具有细菌生源意义的倍半萜类生物标志物 ,在低熟油中普遍存在<sup>[5]</sup> ,只是相对含量很低 ,三塘湖盆地低熟原油中也检测到了较完整的补身烷系列。

三环萜烷和四环萜烷系列 :三塘湖盆地低熟原油中三环萜烷碳数范围为 C<sub>19</sub> ~ C<sub>26</sub> ,以 13β(H)14α(H) 构型为主 (图 3) ;四环萜烷一般仅能检测到 C<sub>24</sub> 成员 ,这类标志物在低熟油中普遍存在。

伽马蜡烷 :首先发现于美国绿河页岩中 ,后在印度尼西亚和我国江汉盆地及准噶尔盆地的原油中广泛出现这种化合物<sup>[5]</sup> 。目前 ,国内较为普遍的认识是将伽马蜡烷作为反映咸水沉积环境的标志。通过伽马蜡烷指数可半定量的判断有机质的沉积环境。伽马蜡烷指数在 0.78 ~ 1.45 为咸化湖相 ,在 0.82 ~ 0.30 范围内为半咸化湖相 ,而 0.30 ~ 0.08 范围内为淡—微咸水湖相。三塘湖盆地低熟原油中普遍检测出该化合物 ,其伽马蜡烷指数在 0.18 ~ 0.43 之间 ,反映出三塘湖盆地低熟原油的源岩沉积环境为微咸水—半咸化湖相。

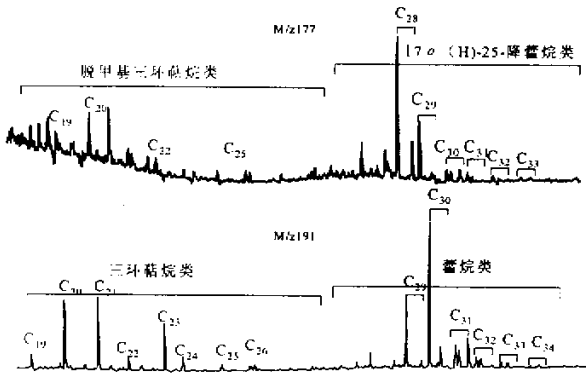


图 3 牛 101( 1218 ~ 1222 m )J<sub>2</sub> 原油质量色谱图

Fig.3 The mass spectrography of the oil from the Niu 101 Well

质谱图上原油及小泉沟群下部源岩均检测出高含量的 C<sub>29</sub>重排甾烷类 ,且 Ts/Tm 比值较高 ,∑藿烷/∑甾烷分布层 25 ~ 43 范围 ,而水西沟群烃源岩 Ts/Tm 比值较低 ,藿烷/甾烷仅位于 4.1 ~ 6.1 之间 ,C<sub>29</sub>重排甾烷类丰度并不高 ;③原油的成熟度较高 ,凹陷内水西沟群烃源岩普遍处于低成熟阶段 ,热演化程度明显低于原油的热演化程度 ,仅小泉沟群下部烃源岩目前已处于成熟—生烃高峰期 ,具备了大量成烃条件 ,与原油的成熟度匹配 ;④在碳同位素组成上 ,水西沟群及小泉沟群上部烃源岩干酪根同位素较重 ,δ<sup>13</sup>C 分布 -24.54 ~ -23.41‰ ,抽提物“氯仿沥青“ A ”)碳同位素 -26.73 ~ -24.5‰ ,与原油差别较大 ,而小泉沟群下部烃源岩干酪根碳同位素相对较轻 ,δ<sup>13</sup>C 分布 -26.55 ~ -25.55‰ ,氯仿沥青“ A ”)碳同位素分布 -29.37 ~ -26.99‰ ,与原油相近 ,尤其是暗色泥岩氯仿沥青“ A ”)碳同位素轻达 -29.37 ~ -29.16‰ ,与原油碳同位素组成极为吻合。从油、源碳同位素组成及 Pr/Ph ~ ααR-C<sub>27</sub>/∑C<sub>27</sub> ~ C<sub>29</sub> 关系图 (图 4) 可以进一步看出 ,源岩中湖相泥岩可能为原油的主要源岩。

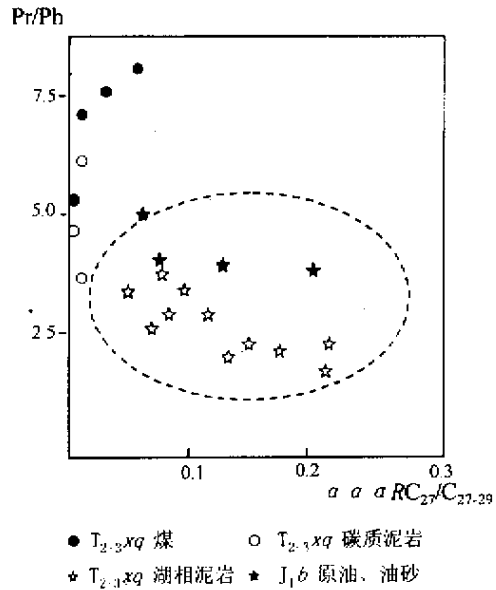


图 4 塘参 1 井原油与 T<sub>2-3xq</sub> 源岩对比图

Fig.4 The oil-source correlation in the Tangcan I Well

4 低熟油油源分析

根据油源对比结果 ,可将三塘湖盆地原油的成因类型分为以下三类。

4.1 北小湖油田原油主要源于 T<sub>2-3xq</sub> 湖相泥岩

在与可能的源岩对比中 ,北小湖油田原油与中、上三叠统小泉沟群下部 (塘参 12 480 m 以下) 的烃源岩具有较好的可比性 ,具体表现为 :①原油 Pr/Ph、Pr/nC<sub>17</sub>、Pr/nC<sub>18</sub> 等参数均与小泉沟群下部源岩抽提物组成相似 ,而与中、下侏罗统水西沟群烃源岩差别较大。②色

4.2 塘参 3 下部原油的母源主要以 P<sub>1</sub>-C 烃源岩

塘参 3 井下二叠统原油显示最大的特点是其为“正常”的成熟原油 ,生物标志物的分布特点是很少检测到伽马蜡烷 ,且规则甾烷呈“V”字型分布 ,这一特征与下二叠统和石炭系烃源岩特征相似 ,说明二者具有较好的成因关系。

4.3 低熟油源于芦草沟组 (P<sub>2l</sub>) 湖相泥岩、泥灰岩 芦草沟组烃源岩甾烷组成上相对富含孕甾烷和升

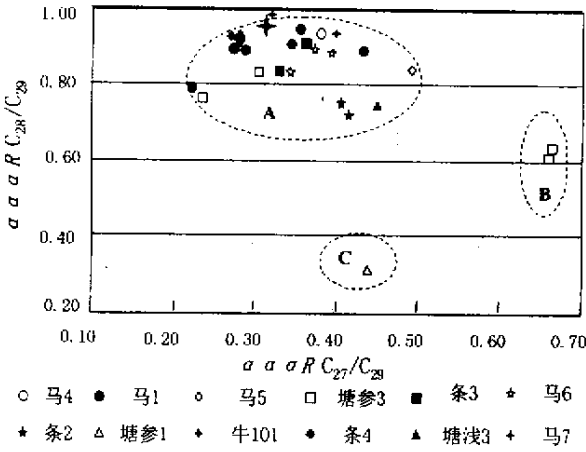


图 5 三塘湖盆地原油生标关系图

Fig.5 The relationship of crude oil biomarkers in the Santanghu basin

孕甾烷,  $C_{28}$ 甾烷丰度明显较高,  $C_{27}$ 、 $C_{28}$ 、 $C_{29}$ 规则甾烷呈“上升型”分布。在萜类化合物组成上,三环萜类分布完整,丰度较高,四环萜烷则相对贫乏,并普遍富含伽马蜡烷,反映源岩沉积时处于微咸水—半咸水环境。牛圈湖油田原油及马 7、塘参(上部储层)、马 6、马 8、马 2、马 4、条 3、条 4 等井所见油气显示或原油均以相对富含伽马蜡烷、 $\beta$ -胡萝卜烷为特征,且规则甾烷呈

“上升型”分布,三环萜类分布完整,四环萜类相对缺乏,生物标志物分布特征与芦草沟组源岩特征一致,表明其油源应来自于该套低熟源岩(图 5 A 区)。

### 5 低熟油的成因机制

国内外学者研究认为低熟油主要有树脂体、木栓质体、藻类体和高等植物生物类质物以及陆源有机质细菌降解改造等四种早期生烃机制<sup>[5]</sup>。低熟源岩的生烃潜力归根结底是低温条件下源岩各种富氢显微组分生烃潜力的综合表现。

#### 5.1 芦草沟组烃源岩有机显微组分特征

表 4 是三塘湖盆地烃源岩有机显微组分统计表,从表中可以看出芦草沟组烃源岩有机显微组分同其他烃源岩存在较大的差异。腐泥组含量平均高达 22.1%,主要是腐泥无定形与藻类体,其中腐泥无定形平均含量达 18.8%。该类显微组分来源于低等水生生物,由于遭受生物降解而使其丧失颗粒形态,故称为腐泥无定形,是典型的富氢显微组分,具极好的生油潜力。藻类体源于化学性质不稳定的富含蛋白质、纤维素和脂肪酸的藻类生源母质,一般藻类都含有  $C_{12}$  -  $C_{20}$ 偶碳数直链的饱和或不饱和的单羧酸,藻类脂肪和细胞膜中也含有长链脂肪酸。腐泥组中的游离生物类脂物经历脱官能团和加氢还原可完成早期生烃过程。

表 4 三塘湖盆地显微组分百分含量表

Table 4 The percent content of the macerals from the Santanghu basin

| 井号   | 层位               | 腐泥组   |     |      | 壳质组 |     |      |     | 镜质组  |        |       | 惰质组    | 指数类型 | ΣHP | ΣOP |     |
|------|------------------|-------|-----|------|-----|-----|------|-----|------|--------|-------|--------|------|-----|-----|-----|
|      |                  | 腐泥无定形 | 藻类体 | 腐泥屑体 | 树脂体 | 孢粉体 | 木栓质体 | 角质体 | 壳质屑体 | 腐殖无定形体 | 结构镜质体 | 无结构镜质体 |      |     |     | 丝质体 |
| 塘参 1 | J                | 0     | 0   | 0    | 0   | 10  | 0    | 16  | 0    | 14     | 13    | 13     | 35   | -52 | 244 | 154 |
| 塘浅 7 | J                | 0     | 0   | 0    | 0   | 10  | 0    | 8   | 0    | 11     | 21    | 19     | 29   | -58 | 212 | 111 |
| 马 6  | T <sub>2-3</sub> | 0     | 0   | 0    | 0   | 10  | 0    | 9   | 0    | 10     | 17    | 17     | 38   | -61 | 204 | 110 |
| 马 7  | T <sub>2-3</sub> | 0     | 0   | 0    | 0   | 1   | 0    | 2   | 0    | 2      | 10    | 3      | 82   | -92 | 81  | 15  |
| 塘参 1 | T <sub>2-3</sub> | 0     | 0   | 0    | 0   | 14  | 0    | 16  | 0    | 13     | 14    | 16     | 27   | -44 | 273 | 181 |
| 塘浅 7 | T <sub>3</sub>   | 0     | 0   | 0    | 0   | 16  | 0    | 0   | 0    | 40     | 11    | 14     | 19   | -60 | 208 | 94  |
| 马 6  | P <sub>2t</sub>  | 0     | 0   | 0    | 0   | 6   | 0    | 9   | 0    | 14     | 15    | 20     | 36   | -65 | 192 | 93  |
| 马 7  | P <sub>2t</sub>  | 0     | 0   | 0    | 0   | 0   | 0    | 9   | 0    | 34     | 4     | 4      | 58   | -89 | 94  | 2   |
| 马 6  | P <sub>2l</sub>  | 19    | 3   | 0    | 0   | 12  | 0    | 9   | 0    | 13     | 12    | 111    | 21   | -16 | 343 | 280 |
| 塘参 1 | P <sub>1-C</sub> | 0     | 0   | 0    | 0   | 7   | 0    | 6   | 0    | 13     | 9     | 12     | 54   | -73 | 158 | 75  |
| 塘浅 4 | C                | 0     | 4   | 0    | 0   | 31  | 0    | 0   | 0    | 8      | 12    | 19     | 28   | -38 | 303 | 216 |

表5 三塘湖盆地芦草沟组显微组分生烃因素分析表

Table 5 The hydrocarbon generation potential of the macerals in the Lucaogou Formation in the Santanghu basin

| 生烃显微组分         | 腐殖无定形    | 角质体      | 孢子体       | 腐泥无定形     | 藻类体      |
|----------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| 生烃范围( $R_o$ %) | 0.4~0.75 | 0.45~1.3 | 0.45~1.30 | 0.35~0.85 | 0.55~1.3 |
| 主生烃期( $R_o$ %) | 0.5~0.6  | 0.7~0.9  | 0.70~0.90 | 0.35~0.6  | 0.9~1.10 |
| 生烃组分相对含量/%     | 22.8     | 15.6     | 21.2      | 34        | 6.4      |
| 生烃潜量(mg/g)     | 84.5     | 46.5     | 85.2      | 210       | 195      |
| 总产油量(mg/g)     | 19.3     | 7.2      | 18.1      | 71.4      | 12.5     |
| 生烃贡献/%         | 15       | 5.6      | 14.1      | 55.5      | 9.8      |

壳质组也基本由孢子体和角质体组成,少数样品中见少量木栓质体,壳质组含量平均为20.8%,镜质组平均含量为35%,惰质组含量仅为21.5%。

### 5.2 芦草沟组烃源岩的生烃机制

表5是三塘湖盆地芦草沟组显微组分生烃因素分析,芦草沟组主要生烃显微组分为腐泥无定形体、腐殖无定形体、孢子体、角质体和藻类体。其生烃期存在较大的差别,腐泥无定形体的生烃范围 $R_o$ 为0.35%~0.85%,主生烃期 $R_o$ 为0.35%~0.6%;腐殖无定形体的生烃范围 $R_o$ 为0.4%~0.75%,主生烃期 $R_o$ 为0.5%~0.6%,属低熟生烃显微组分;角质体和孢子体的生烃范围较宽, $R_o$ 为0.45%~1.3%,主生烃期 $R_o$ 为0.7%~0.9%;藻类体生烃范围 $R_o$ 0.55%~1.3%,主生烃期为0.9%~1.10%,属成熟生烃显微组分。各生烃显微组分的生烃潜量也存在较大差别,腐泥无定形生烃潜量210 mg/g,藻类体195 mg/g,孢子体85.2 mg/g,角质体46.5 mg/g。根据生烃潜量和生烃显微组分的相对含量确定出芦草沟组的主要生烃显微组分为腐泥无定形占总生烃量的55.5%,孢子体、藻类体和角质体分别占总生烃量的15%、14.1%、9.8%和5.6%,从而决定了三塘湖盆地芦草沟组烃源岩低熟生烃的特征。

## 6 结语

综上所述,芦草沟组烃源岩中富含腐泥无定形及腐殖无定形富氢显微组分,是三塘湖盆地低熟油形成的主要原因,有别于树脂体、木栓质体、藻类和高等植物生物类脂物以及陆源有机质细菌降解改造等早期生烃机制。该结论对低熟油成因理论是一个补充,也有利于三塘湖盆地以及其它地区低熟源岩的评价及低熟油的勘探。

另外,三塘湖盆地低熟油中普遍检测出 $17\alpha(H)-25$ -降霍烷系列,该标志物被认为是原油降解的标志。在三塘湖盆地芦草沟组烃源岩中也多次检测出该类化合物,三塘湖盆地低熟油的形成可能与有机质的细菌

降解过程有关。

### 参 考 文 献

- 1 B P 蒂索, D H 威尔特. 石油形成与分布[M]. 北京:石油工业出版社, 1989
- 2 Davis B P, Bery E E. Analysis of oil and cap rock from Challenger (Sigsbee) Knol[R]. In: Ewing W F F, ed. Initial Report of the Deep Sea Drilling Project (Ewing W M). 1969. 1: 415~499
- 3 McIver R D. Geochemical significance of gas and gasoline-range hydrocarbons and other organic matter in a Miocene sample from Leg 13 site 134. In: Ryan W F F. et al, eds. Initial Reports of Deep Sea Drilling Project, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C. 1973. Vol. X X III 813~816.
- 4 Snowdon L R, Powell T G. Immature oil and condensate modification of hydrocarbon generation model for terrestrial organic matter[J]. AAPG Bull. 1982, 66(6): 775~788
- 5 王铁冠, 钟宁宁. 低熟油气形成机理与分布[M]. 北京:石油工业出版社, 1995
- 6 史继扬, 汪本善. 苏北盆地生油岩中甾、萜的地球化学特征和我国东部低成熟的生油岩与原油[J]. 地球化学, 1985, (1): 80~88
- 7 黄第藩, 尚慧芸, 李晋超. 中国陆相生油理论研究新进展[R]. 北京国际石油地质会议论文[C]. 1984, 17
- 8 黄第藩, 廖前进, 徐永昌. 未熟石油成因的初步研究[A]. 中国科学院兰州地质研究所生物、气体地球化学开放实验室研究年报 1987 [C]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1988, 1~19
- 9 廖前进, 黄第藩, 徐永昌. 我国陆相地层中未熟、低熟油的地球化学特征研究[A]. 中国科学院兰州地质研究所生物、气体地球化学开放实验室研究年报[C]. 1986. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1987, 34~161
- 10 陈安定. 临深2井原油成熟度研究[A]. 第二界有机地球化学及陆相生油会议论文[C]. 1982
- 11 蔡舜天, 郭亦秋. 广西百色盆地石油地质概述[J]. 石油天然气地质, 1984, (4): 362~371
- 12 马万怡. 泌阳凹陷白云岩中的未成熟原油[A]. 第三界有机地球化学会议论文[C]. 1986
- 13 黄飞, 朱家蔚. 东濮凹陷文南地区未成熟原油特征研究及其勘探意义[J]. 中原油气, 1990, 增刊 2: 23~29
- 14 廖前进, 于俊利, 刘雨金. 黄骅裂谷盆地油气生成与资源潜力研究[R]. 大港石油管理局石油地质勘探开发研究院, 1990
- 15 李茂芬. 辽河断陷低熟油的特征[R]. 辽河油田勘探开发研究院, 1993
- 16 刘晓艳, 王子文, 王青海等. 松辽盆地黑帝庙油层原油地球化学特

- 征 J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(4): 24 ~ 27
- 17 黄第藩, 张大江等. 盐湖环境中二环倍半萜类的分布和树脂酸衍生物的生烃特征 J]. 石油与天然气地质, 1989, 10(4): 337 ~ 344
- 18 王屿涛. 新疆吉木萨尔凹陷低熟原油地球化学特征及含油气远景 [J]. 石油实验地质, 1993, 15(4): 358 ~ 393
- 19 Holzer G, Oro J, Tomabene T G. Gas Chromatographic - mass spectrometric analysis of natural lipids from methanogenic and thermo acidophilic bacteria [A]. In: Advances in Chromatography 1979 (Zlatkised), 1165 ~ 1181

## The Immature Oils in Santanghu Basin

WANG Zhi-yong<sup>1</sup> WEI Yan-zhao<sup>2</sup> ZHAO Chang-yi<sup>2</sup>

1 ( Research Institute of Turpan-hami Oil-field Company, Hami Xinjiang 839009 )

2 ( Research Institute of Petroleum Exploration and Development CNPC, Beijing 100083 )

### Abstract

Most of the oils found in Santanghu basin were regards as immature, mainly because the values of  $20S/(20S + 20R)$  of  $C_{29}$  sterane are lower than 0.42. Compared with other immature oils reported in china, they have some special characteristics. Through analyzes to oil source, these immature oils mainly come from Lucaogou Formation of upper Permian which is better source rocks with low maturity and much abundance of organic matter. Different from other immature source rocks in Santang lake basin, Lucaogou formation abounds with sapropelic amorphous that content abundant hydrogen. It can be learned through pyrolysis that the sapropelic amorphous is the main contributor of hydrocarbon in Lucaogou formation and the  $R_o$  of its main hydrocarbon-generating interval is from 0.35% to 0.6%, which is the main hydrocarbon-generating mechanism of the immature oils in Santang lake basin. Furthermore, The series of  $17\alpha(H)-25$ -norhopane compound was found not only in oil, but also in Lucaogou formation, which hints that the immature oils in Santang lake basin may have relations with the bacteria degradation of terrigenous organic matter.

**Key words** Santanghu Basin, Lucaogou Formation, immature oil, maceral, sapropelic amorphous