

二连盆地吉尔嘎朗图凹陷稠油成因

窦立荣 杨 涛

(石油勘探开发科学研究院, 北京 100083)

吉尔嘎朗图凹陷位于二连盆地乌尼特坳陷西南端, 为一北东走向, 北断南超型凹陷, 是早期沉陷、后期抬升的单旋回新陷。断陷内存在两种成因稠油: 原生稠油和次生生物降解稠油。它们的形成机理和地质地化特征不同。原油的地化分析表明, 吉尔嘎朗图凹陷西南斜坡区稠油藏是轻度—中度降解的低熟稠油。

关键词 二连盆地 吉尔嘎朗图凹陷 稠油成因 生物降解稠油 微量金属元素 降解序列

第一作者简介 窦立荣 男 28岁 工程师 石油地质

1 概况

吉尔嘎朗图凹陷位于二连盆地乌尼特坳陷西南端, 锡林浩特市近郊 (图1)。为一北东走向、北断南超型凹陷, 长67 km, 宽7~20 km, 面积1 100 km², 下白垩统约3 500 m。在凹陷内已发现许多稠油藏, 凹陷西南边缘出露沥青砂 (图1)。探明和控制稠油地质储量占总探

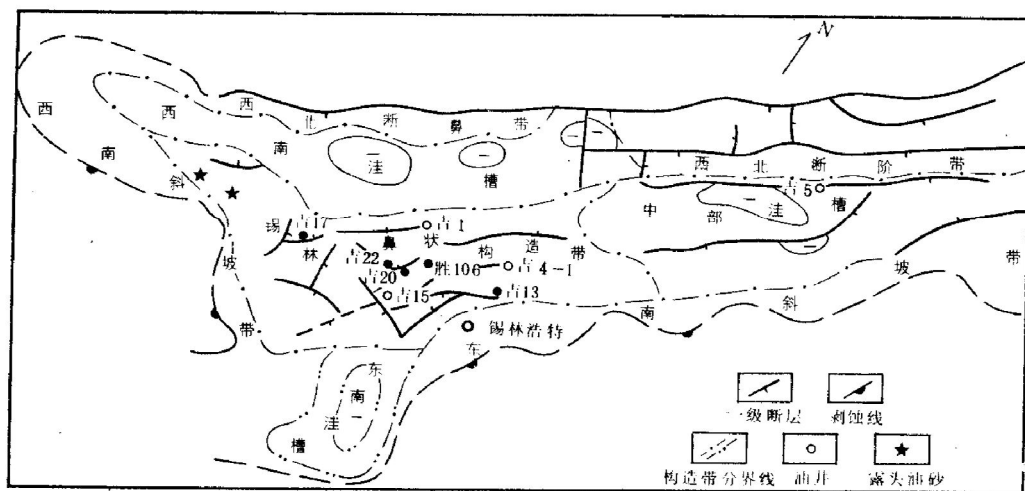


图1 吉尔嘎朗图构造纲要图

明和控制储量的90%。吉4断块稠油田已成为我国第四大稠油田。随着勘探的深入, 将会有愈来愈多的稠油藏被发现。

吉尔嘎朗图凹陷的形成发育从属于整个二连盆地,同时具有自身的发育特征。该断陷是早期沉陷(K_1)、晚期抬升(K_2-Q)的单旋回残留型湖盆。早白垩世中晚期是古湖盆发育的全盛时期,当时古气候以温暖潮湿为主,断陷湖盆以淡水—微咸水为主。经历了三个发育阶段,即早期阿尔善组强烈断陷快速充填粗碎屑阶段、中期腾格尔组强烈拉张大湖发育阶段和晚期赛汉组整体抬升河沼相发育阶段^[1~3]。

断陷内主要成熟生油岩为腾一段下部,有机碳平均含量为 $0.16\% \sim 5.62\%$,平均为 1.70% ,氯仿沥青“A”含量为 $215 \times 10^{-6} \sim 8\,725 \times 10^{-6}$,平均 $3\,160 \times 10^{-6}$,总烃含量为 $123.8 \times 10^{-6} \sim 5\,352.8 \times 10^{-6}$,平均为 $1\,987.1 \times 10^{-6}$,烃/有机碳为 $4\% \sim 8.83\%$,平均为 6.40% ,属中等—好的生油岩。有机质类型以混合型为主。成熟生油岩仅占本段生油岩总厚度的 60% ,成熟生油岩分布面积占断陷面积的 34.6% 。腾二段生油岩处于未成熟阶段,腾一段处于低成熟—成熟阶段,因此生成的原油以低成熟稠油为主,饱和烃含量一般较低,平均只有 45.2% ,非烃含量高,平均达 41.0% ;原油密度、粘度偏高。

2 稠油类型及地球化学特征

凹陷内原油的形成及其物理性质除受其源岩性质和热成熟度控制外,还受后期运移聚集及次生改造等诸多因素控制。未成熟—低成熟生油岩在一定条件下可以直接形成稠油,这类稠油在许多盆地都有发现,并形成工业价值的稠油藏。成熟生油岩生成的常规原油也可以通过运移和重力分异等物理作用形成稠油,但是更多的稠油藏是由水洗和生物降解作用形成的。因此,稠油可分两大类:原生稠油和次生生物降解稠油。

2.1 原生稠油

是指只经过物理作用(如运移、重力分异等)形成的稠油,原油化学组成没有发生明显变化,只是组分含量有所差异。

2.1.1 原生未成熟稠油——吉5井

原生未成熟油藏(田)在我国陆相含油气盆地中普遍存在。黄第藩等^[4]报道了大量未成熟油的例子。可以看出,在未成熟阶段($R_o < 0.6\%$),一定质量的暗色泥岩(有机碳含量大于 1.0%)或碳酸盐岩(有机碳含量 $0.4\% \sim 0.8\%$),可以生成一定量的原油,至于其物性(密度和粘度等)则取决于其源岩的显微组分及成烃环境(是否与盐岩共生)。

腾一段上部存在一定数量的暗色泥岩。有机碳含量平均为 1.72% ,沥青“A”含量平均为 $2\,047 \times 10^{-6}$,总烃含量平均为 $1\,112.0 \times 10^{-6}$,热解产率(S_1+S_2)平均为 8.89 kg/t ,是一套可靠的未成熟—低成熟生油岩,由于处于断陷回返上升时期,陆源有机物质含量丰富,显微组分以镜质组为主。因此,它们可能生成一定量的低熟稠油(如吉5井)。

吉5井腾一段 $1075.8 \sim 1081.0 \text{ m}$ 测井解释为差油层,试油捞24次日产 0.028 t ,原油密度 0.9420 g/cm^3 (d_{40}^{20}),粘度 $1\,058.52 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ (50°C),含蜡 13.25% ,含硫 0.293% ,非烃+沥青质 46.70% ,凝固点 28°C 。

原油地球化学分析表明(图2),原油色谱图完整,具明显的奇偶优势, $OEP=1.45$, $Pr/Ph=0.24$, Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 分别为 1.13 和 2.61 ,主峰碳为 C_{23} ,甾烷色谱图表明,甾烷 $C_{29}20S/20(S+R)=0.24$, $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)=0.178$ 为未熟油。是未成熟阶段形成的未受

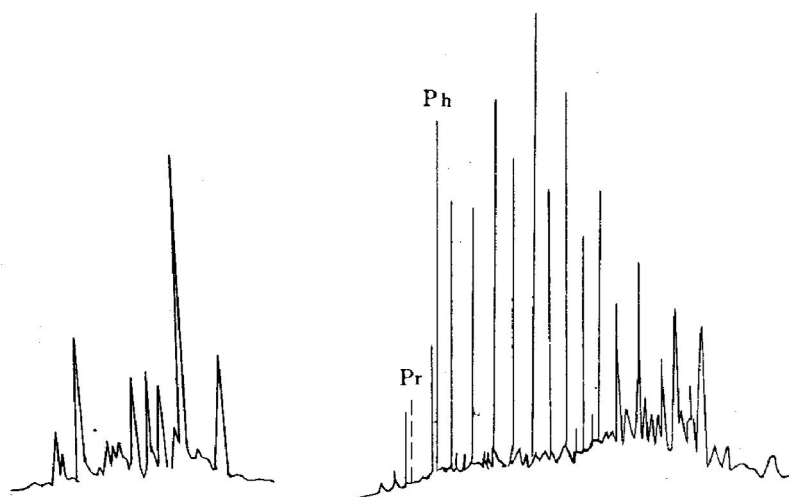


图2 吉5井原油的饱和烃和甾烷谱图

水的影响。

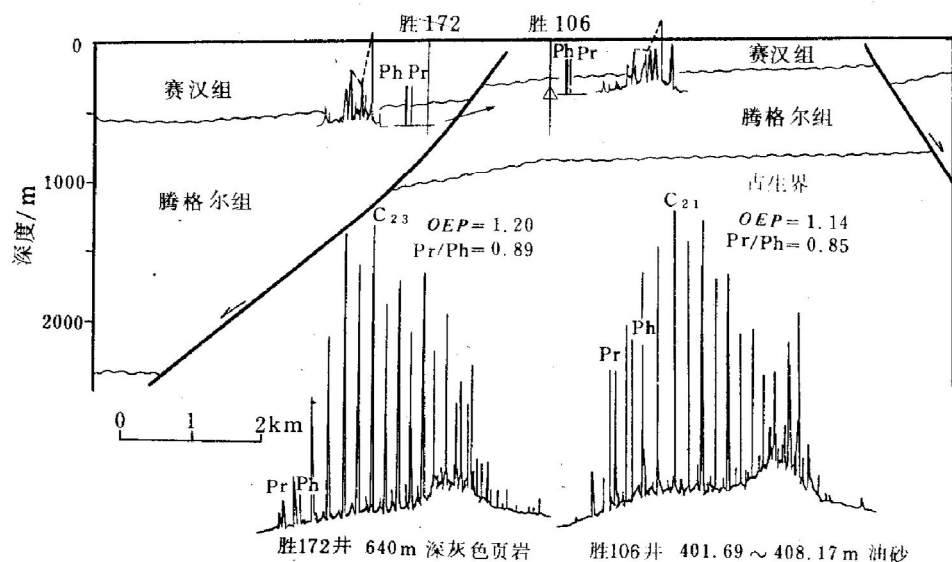


图3 胜106井油源对比剖面图

原油地球化学分析表明,原油中甾烷 $C_{29}20S/(20S+20R)$ 为 0.561,甾烷 $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 为 0.476,为成熟型原油,但原油密度和粘度大,而饱和烃色谱图表明原油未遇生物降解。油源对比说明,胜106井原油来自下降盘胜172井腾格尔组一段深灰色泥岩,它们之间有很好的可比性:(1)饱和烃色谱图形状相似,正构烷烃主峰碳为 C_{21} 或 C_{23} , $OEP \leq 1.2$; Pr/Ph 为 0.85~0.89;(2)饱和烃色质谱图 (m/e 191, m/e 217) 相似,成熟度指标胜106与胜172井 585 m k_1bt 油砂相近,略高于胜172井 640 m 生油岩,说明两个油样都来自凹陷中埋深大于 640 m 腾格尔组成熟生油岩,胜106井由于运移、扩散、吸附等因素的影响,原油变稠,未受到明显的生物降解,是原生运移型稠油。

2.2 生物降解稠油

油气藏中原油的降解作用是在地层水与地表水有一定连通性的条件下进行的。这种油层

生物降解的原生稠油。

2.1.2 原生成熟稠油——胜106井

胜106井位于断层上升盘(图3),原油密度高达 0.966 8 (d_4^{20}),粘度高达 2 109.78 mPa·s (50℃),原油含蜡 7.75%,含硫 0.251%,非烃+沥青质为 53.23%,凝固点 3℃。产水 2.8 m³,地层水矿化度 280 804 mg/l, rNa/rCl 为 1.29, $(SO_4^{2-} \times 100)/Cl$ 为 0.07, $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ 为 11.88,可见是还原环境,说明保存条件很好,没有受到地表

水一般含有少量($1 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6}$)溶解氧气和多种微生物(细菌)。在油田中已发现的微生物有30个属100个种以上的细菌、真菌、霉菌和酵母。不同菌种都能破坏一种或几种烃类,特别是低碳数烃类。据统计,世界上原油总储量的10%左右被细菌所消耗,另有10%原油的质量因微生物的降解而变差。

本凹陷内大部分稠油是由于水洗或生物降解或两种作用共同形成的。已形成的原油向凹陷浅层或斜坡运移聚集,或由于后期构造抬升,已形成的油气藏抬升到浅层地层水自由交替带和风化带,在水洗、生物降解、游离氧的氧化和轻质组分的损失等因素影响下,使得原油遭受不同程度的稠变。已降解稠变的重油与常规原油的物理化学特征有显著差别,具有自身的物理化学特征和分布特点。

2.2.1 物性

吉尔嘎朗图凹陷生物降解稠油的密度-粘度关系类似于渤海湾盆地的低熟稠油的特征^[6],而与盆地内常规原油有明显差别(图4)。

吉尔嘎朗图凹陷低熟稠油除密度和粘度大以外,还有含硫量、初馏点高、含蜡量、凝固点低,轻质馏份少的特点。常规原油的含硫量平均为0.125%,而稠油的含硫量为0.201%。另外,微量元素也高于正常原油。常规原油氮含量一般小于0.7%,而稠油氮含量大于0.7%,如淖参1井(407.22~414.12 m)稠油氮含量1.12%。

2.2.2 地球化学特征

2.2.2.1 族组成

原油主要由烷烃、芳烃和沥青质组成。二连盆地常规原油的饱和烃含量一般大于50%,非烃+沥青质含量低,一般小于30%。生物降解稠油饱和烃含量降低,非烃+沥青质含量增加。

2.2.2.2 微量金属元素

原油中有多种金属元素^[5],其含量变化很大。对二连盆地5个油样抽提物氯仿沥青“A”进行了原子吸收光谱分析,测定了镍、锌、铅、镉、铬、锂等六种金属(表1)。其中镍与沥青质的含量之间有很好的相关性。随生物降解作用程度增加,非烃、沥青质含量增加,金属元素由于浓缩作用而逐渐富集,即金属元素含量随生物降解作用增强而增加。

2.2.2.3 碳同位素特征

生物降解作用对原油及其族组成碳同位素有明显影响。张大江等^[6]和牛嘉玉等^[7]研究发现,细菌在进行氧化或降解时,一方面优先消耗富 ^{12}C 的化合物或组分,另一方面对族组成有选择性的降解,即先降解饱和烃,然后是芳烃、非烃和沥青质。因此,随着水洗和生物降解作用的增强,原油密度和粘度增加,形成生物降解原油各组分的碳同位素曲线的偏转特征。通过对吉尔嘎朗图凹陷露头、吉4-1、吉15、吉17井稠油与常规油(吉22)的族组分碳同位

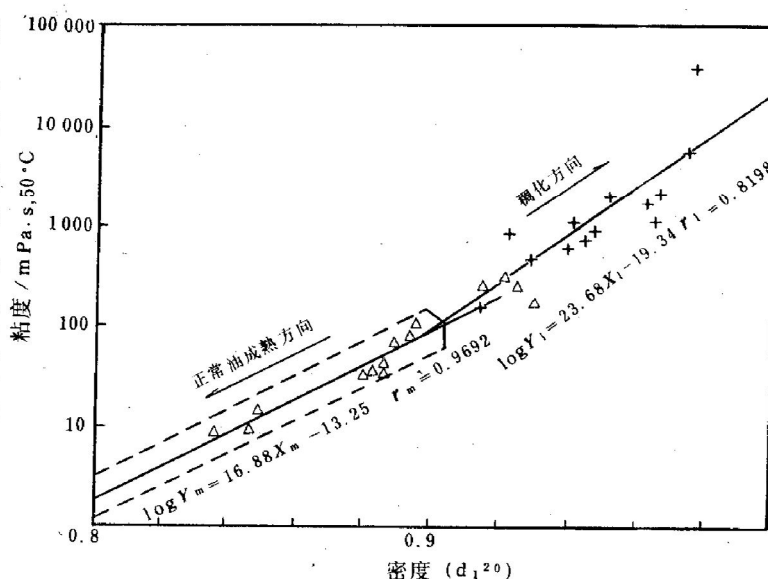


图4 二连盆地生物降解稠油与常规油的粘度-密度关系曲线

素分析发现 (表 2), 它们的变化很小, 说明稠油的稠化程度低。

表 1 油砂抽提物中微量元素含量统计表

井号	井 深/m	微 量 元 素					
		Ni/ 10^{-6}	Zn/ 10^{-6}	Pb/ 10^{-6}	Sr/ 10^{-6}	Cr/ 10^{-6}	Li/ 10^{-9}
露头	0 ~ 3	52.33	24.00	1.22	66.5	1.75	2 355
吉 15	343.4~347.5	27.69	4.29	1.18	1.85	2.04	73.0
吉 17	413.6~416.0	24.96	4.53	0.46	1.66	1.53	221.6
吉 22	350.14~354.0	16.72	2.63	1.63	7.66	2.41	281.0

2.2.2.4 降解油饱和烃馏分的特征

(1) 气相色谱特征

饱和烃中抗生物降解能力的次序是: 环烷烃 > 异构烷烃 > 正构烷烃。因此, 在原油受到水洗、生物降解等稠变作用的影响下, 饱和烃的气相色谱特征将发生明显变化, 即随着水洗和生物降解作用程度的增加, 正构烷烃首先部分消失或完全消失, 异构烷烃明显突出 (表 2), Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 由 0.81、1.15 分别上升到 2.17、3.62, $(Pr+Ph)/\Sigma HC$ 由 13.59% 上升到 43.9%。进一步生物降解又使得异构烷烃遭到破坏, Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 、

表 2 原油族组分同位素表

井号	碳同位素 PDB,‰			
	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
露头	-32.24	-29.96	-29.87	-29.40
吉 15	-31.92	-29.49	-29.38	-29.14
吉 17	-31.74	-29.64	-29.52	-28.77
吉 4-1	-31.12	-30.71	-29.38	-28.57
吉 22	-31.20	-31.77	-29.32	-26.64

$(Pr+Ph)/\Sigma HC$ 分别下降到 0.49、0.77 和 6.26。

(2) 甾、萜化合物特征

一般说来, 随原油中正构烷烃和异构烷烃的降解, 环烷烃等生物标志化合物更为突出, 在 RIC 谱图后方形成了一个很高的峰群。

由 $m/e191$ 谱图可见, 二连盆地吉尔嘎朗图凹陷稠油中萜类化合物没发生明显变化 (三环萜、五环萜、 γ -蜡烷/ 17α (H) - 30-藿烷)。 $m/e217$ 谱图可见, 甾类化合物仅在露头样品中发生明显降解, C_{29} 重排甾烷/正规甾烷由 0.15 左右增加到 0.682 6, 增加 4 倍多。孕甾烷含量也明显增加, 孕甾烷/正常甾烷由 0.05 左右增加到 0.382 5, 增加近 8 倍。

2.2.2.5 降解油芳烃馏分的特征

对吉尔嘎朗图凹陷吉 22、吉 17、吉 13、吉 15 和露头油砂芳烃馏分进行了色质分析, 表明它们均未受到微生物的破坏, 说明该区稠油受生物降解程度低。

(1) 蔡、菲系列特征

分析结果表明, 蔡、菲系列没有明显变化, 蔡/菲、甲基蔡/烷基蔡由吉 22 井常规油的 0.137 5 和 0.289 0 分别变为 0.196 2 和 0.297 9。

(2) 三芳甾烷特征

三芳甾烷抗生物降解能力最强, 在较强烈生物降解作用下, 显示出较强的稳定性, 是稠

油源对比和成熟度研究的良好指标。分析的5个样品三芳甾烷分布极为相似(图5)。例如,基峰为231的三芳甾烷($C_{26}+C_{27}$)/ C_{28} 比值在0.527 3~0.878 7, $C_{28}20S/(20S+20R)$ 在0.531 5~0.665 4,这说明它们成熟度相近,而且来自同一个油源。

3 吉尔嘎朗图凹陷稠油

张大江等^[6]、牛嘉玉等^[7]和胡见义等^[8]分别对新疆和渤海湾盆地稠油的稠变序列进行了研究,并相应分为5~6个等级。一般认为原油中烃类化合物耐生物降解的能力有一定的演变顺序,即原油稠变系列顺序,依次为正构烷烃<异戊间二烯烷烃<二环倍半萜<规则甾烷(20R, 20S)<五环三萜<三环二萜烷<重排甾烷<25-降藿烷<25、30-二降藿烷< $C_{24}H_{42}$ 四环二萜烷<17 α (H)-22, 29, 30三降藿烷(Tm)<伽马蜡烷(具五个六元环骨架)。作者根据吉尔嘎朗图凹陷吉22、吉4-1、吉17、吉13、吉15井及露头原油或油砂的气相色谱、色-质谱和碳同位素资料,并结合原油物性资料,认为吉尔嘎朗图稠油主要为轻度-中度降解油。

3.1 正常原油

以吉22井350 m原油为代表,正构烷烃的相对丰度很高,分布完整,异构和环烷烃相对丰度较小,在 m/e 191和217的质量色谱图上,除可见的三、四、五环萜烷外,未检出任何降解产物,正常甾烷和重排甾烷的分布及相对丰度与生油岩相似。

3.2 轻度生物降解油(早期)

以吉20、吉4-1、吉17井为代表。吉20、吉4-1井还残留部分正构烷烃,吉20井 Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 明显高于吉22井,吉4-1略有下降,说明异构烷烃也已开始受到生物降解,吉17井正构烷烃全部消失,异构烷烃异常突出, Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 分别为2.17和3.62,比正常原油增加3倍多。在 m/e 191、217质量色谱图上,环状甾、萜等标志化合物基本未受影响,与正常原油(吉22)相似。

3.3 轻度生物降解油(晚期)

以吉13、吉15井为代表,除正构烷烃消失外,异构烷烃亦消失, Pr/nC_{17} 、 Ph/nC_{18} 明显下降,分别由2.17下降到0.51,由3.62下降到0.91。另外,胡萝卜烷明显增加,胡萝卜烷/($Pr+Ph$)由吉17井0.148增加到1.30(吉15井)。豆甾烷($C_{29}5\alpha$, 14α , 17α , 20R)和麦角甾烷($C_{28}5\alpha$, 14α , 17α , 20R)没有发生明显变化。 m/e 191、 m/e 217质量色谱图与早期相同。

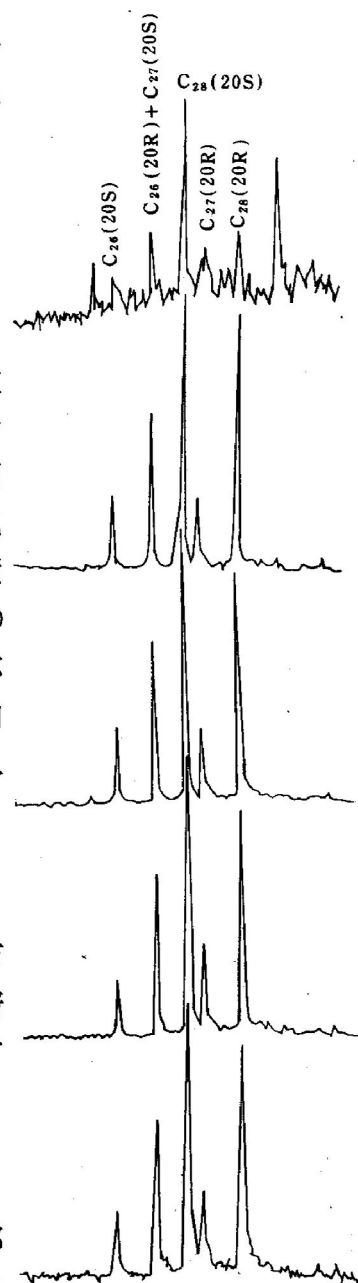


图5 三芳甾烷 m/e 231 质量色谱图特征

3.4 中度生物降解油

以吉尔嘎朗图凹陷西南Ⅱ探槽露头区稠油为代表。原油中正构烷烃、异构烷烃全部消失, 胡萝卜烷仍很高, 孕甾烷明显增加。环状的甾烷、萜烷开始受到破坏。正常甾烷 ($C_{27}-C_{29}5\alpha$, 17α , $20R$ 和 $20S$ 以及 $C_{27}-C_{29}5\alpha$, 14β , 17β , $20R$ 和 $20S$) 部分损失, 豆甾烷 ($C_{29}5\alpha$, 14α , 17α , $20R$) 和麦角甾烷 ($C_{28}5\alpha$, 4α , 17α , $20R$) 明显损失, 相对含量显著增加, 重排甾烷/正常甾烷由吉 15 井的 0.177 0 上升到 0.682 6, 孕甾烷/ $C_{29}20$ (S+R) 由吉 15 井的 0.023 上升到 0.382 5。

总之, 吉尔嘎朗图凹陷稠油的成熟度低, 生物降解程度也低, 原油经一定生物降解后密度和粘度明显增加。从上述分析可见, 原油中各组分遭受生物降解的次序不仅有先后之分, 而且有重叠现象。在正构烷烃明显遭到破坏时, 植烷和姥姢烷也开始受到破坏, 如吉 4-1 井。在植烷、姥姢烷遭到明显破坏时, 如吉 13、吉 15 井, 正常甾烷也开始遭到破坏。

参 考 文 献

- 1 窦立荣. 东北含油气区中新世代断陷盆地石油地质特征及资源远景. 江汉石油学院学报, 1992, 14 (1): 1~8
- 2 于英太. 二连盆地演化特征及油气分布. 石油学报, 1990, 11 (3): 12~19
- 3 王雪平, 梁狄刚. 二连盆地生油层特征与油气运移. 见: 中国含油气盆地烃源岩评价. 北京: 石油工业出版社, 1989, 165~181
- 4 黄第藩, 廖前进, 徐永昌. 未成熟石油成因的初步研究. 见: 沈平立编. 研究年报 (兰州). 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1987. 1~19
- 5 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 1984
- 6 张大江, 黄第藩, 李晋超. 克拉玛依原油的生物降解. 石油勘探与开发, 1987, 14 (4): 11~19
- 7 牛嘉玉, 翁维瑾, 徐树宝. 辽河西部斜坡稠油成因的分析. 石油学报, 1990, 11 (4): 17~23
- 8 胡见义, 徐树宝, 程克明. 中国重质油藏的地质和地球化学成因. 石油学报, 1989, 10 (1): 1~11

ORIGIN OF HEAVY OILS AT JIRGALANGTU DEPRESSION OF ERLIAN BASIN

Dou Lirong Yang Tao

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

Abstract

Jirgalangtu Depression is located at the southwestern part of the Wunit subbasin, Erlian Basin. It is a NE-trending half-graben with a fault belt in the north side and an overlap in the south side. The depression subsided in the early stage and uplifted in the late stage. Two kinds of genetic heavy oils could be found within the depression such as primary heavy oil and biodegraded heavy oil. Each of them has its own formative mechanism and geochemical features. Geochemical analysis of the crude oils shows that the heavy oil pools distributed along the southwestern slope of the Jirgalangtu Depression contain slightly-intermediately biodegraded immature heavy oils.