

# 准噶尔盆地西北缘稠油生物降解特征

王屿涛

(新疆石油管理局勘探开发研究院, 克拉玛依)

**摘要** 本文对准噶尔盆地西北缘主要稠油区内的稠油进行了饱和烃和芳烃的 GC/MS 分析。结果表明, 生物标志物的组成具有较完整的抗降解序列; 结合稠油的常规物理性质, 将稠油的生物降解作用划分为微生物降解作用、轻度生物降解作用、中度生物降解作用、重度生物降解作用和特重度生物降解作用。

**关键词** 稠油 生物标志物 生物降解 抗降解序列 准噶尔盆地

**作者简介** 王屿涛 男 34岁 工程师 石油与天然气地球化学

重油作为一种烃类资源, 在世界各地正得到迅速的勘探与开发。但此类资源的定义还未取得统一。美国把重油定义为在常规油层中比重小于  $20^\circ\text{API}(0.934)$  的原油。联合国训练研究署的定义为油层温度下粘度大于  $10^4\text{mpa}\cdot\text{s}$  的称之为沥青,  $50$  至  $10^4\text{mpa}\cdot\text{s}$  的称为稠油。由于我国陆相重油比重较低, 粘度较高, 且粘度又是一项重要的开采指标, 故仅以粘度指标来定义。

本文所讨论的稠油, 为冷采效果较差, 油层温度下粘度达到稠油划分标准的原油。

表 1 准噶尔盆地西北缘稠油物性参数

Table 1 Conventional physical property parameters, heavy oil in northwest margin of Junggar basin

地区	井号	层位	深度 (m)	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	粘度 $50^\circ\text{C}$ ( $\text{mpa}\cdot\text{s}$ )	酸值 ( $\text{mgkOH}/\text{g}$ )	凝固点 ( $^\circ\text{C}$ )	含蜡量 (%)
四区	522	T <sub>1</sub>	472.5-512	0.9056	279.9	1.30	-38.4	1.51
	45	T <sub>1</sub>	273.8-336.61	0.8959	70.56	1.37	-36	2.10
	146	T <sub>1</sub>	412.8-456.8	0.9172	250.12	3.11	-57	1.79
黑油山	黑101	T <sub>1</sub>	68-60	0.9142	130.17	3.31	-31	0.67
	黑102	T <sub>1</sub>	82.5-79.25	0.9145	147.45	3.09	-28	1.91
	黑113	T <sub>1</sub>	226.3-222	0.9003	57.24	1.74	-45.5	1.13
六区	60014	J <sub>1</sub>	258-216	0.9254	436	3.77	-9	2.34
	60021	J <sub>1</sub>	255-224	0.9230	409	3.12	-15	2.24
	检244	J <sub>1</sub>	256-264	0.9204	316	2.05	-19	1.94
九区	94247	J <sub>1</sub>	256-264	0.9300	442	4.83	-20.5	4.21
	93327	J <sub>1</sub>	279.5-246.5	0.9459	1425	4.75	-4.0	3.50
	96298	J <sub>1</sub>	181.22-185.72	0.9420	1480	3.11	-5.0	1.85
	96418	J <sub>1</sub>	187-155	0.9482	1780	3.28	-8.0	1.50
风城	重1井	J <sub>1</sub>	264.5-275	0.9619	20391	3.83	15.5	1.56
	重1	J <sub>1</sub>	251.4-257.6	0.9568	6248	2.38	8.07	1.84
	重29	J <sub>1</sub>	165-100	0.9558	10507	/	8.0	1.81
	重15	J <sub>1</sub>	503	0.9708	56772	/	/	/

## 1 稠油的分布概况及常规物性

准噶尔盆地西北缘东西长 160km 的浅层中生界地层中蕴藏着丰富的稠油资源。油源研究表明,稠油—稀油具有亲缘性(杨斌等,1989)。目前稠油油藏主要分布在六区、九区、四<sub>2</sub>区、黑油山和风城地区;在界山前缘和地表出露的地层中还分布有沥青和油砂。目前已探明和控制稠油储量的埋藏深度均小于 600m,一般在 200m—400m 之间。稠油油藏在剖面上多分布在中三叠统克上组(T<sub>3</sub><sup>2</sup>)和克下组(T<sub>3</sub><sup>1</sup>)及上侏罗统齐古组(J<sub>3</sub><sup>1</sup>),其中以齐古组规模最大。

四<sub>2</sub>区和黑油山的三叠系稠油密度和粘度相对较低(表 1),而六区、九区和风城的侏罗系稠油密度和粘度相对较高,其中以风城稠油密度和粘度最大。

## 2 稠油的生物标志物组成

生物降解作用中,细菌对烃类的摄取具有选择性。随细菌作用程度的增强,烃类中一部分化合物逐渐被消耗,而另一部分化合物则相对富集,因此,研究生物标志物的丰度可以了解生物降解的程度。

### 2.1 饱和烃生物标志物特征

#### 2.1.1 正构、异构烷烃

图 1 为西北缘典型稠油样品饱和烃重建离子流图。可见正构烷烃已基本消失,类异戊二烯烷烃如姥鲛烷和植烷在 522 井和黑油山稠油中有较高的丰度;从相同的保留时间来看,60014 井、94247 井、重 1 井稠油及吐孜沟油砂则缺乏这类化合物。从 Pr 和 Ph 的相对丰度并结合稠油的物性资料来看,由 522 井至吐孜沟油砂,生物降解作用逐渐增大,证实微生物首先消耗正构石蜡烃,接着对类异戊二烯烷烃进行选择性摄取。

#### 2.1.2 胡萝卜烷

$\gamma$  和  $\beta$  胡萝卜烷比类异戊二烯烷烃更稳定(图 1)。522 井、黑油山和 60014 井稠油中该化合物保存尚好,但在 94247 井稠油中  $\beta$  胡萝卜烷强度明显衰减, $\gamma$  胡萝卜烷遭到了破坏,这可能是由于  $\gamma$  胡萝卜烷只有一个紫罗兰酮环,故比  $\beta$  胡萝卜烷(两端都是环)更易受到微生物的侵蚀(蒋助生,1983)。重 1 井稠油和吐孜沟油砂中  $\gamma$ 、 $\beta$  胡萝卜烷消耗殆尽,表现了较强的生物

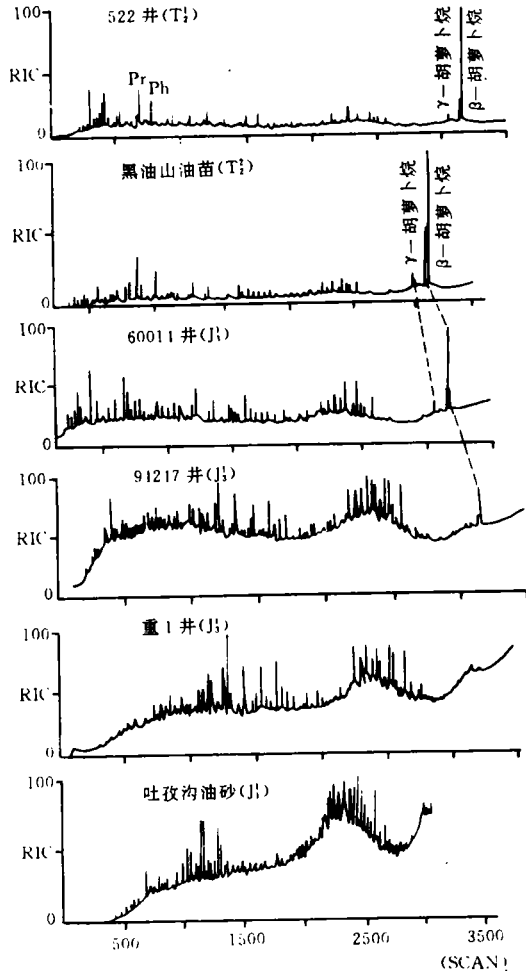


图 1 稠油饱和烃重建离子流图

Fig. 1 Saturated hydrocarbon RIC trace to heavy oil

降解作用。

### 2.1.3 烷基环己烷和甲基烷基环己烷

1959年 Hood 在原油和沉积物中检出这类化合物后,它们的分布和成因引起许多有机地球化学家的兴趣(Hoffmann, et. al, 1987)。准噶尔盆地西北缘原油中亦广泛发现这类化合物,但稠油中仅在 522 井等四<sub>2</sub>区稠油中有部分保存,说明对生物降解作用也是很敏感的,与正构烷烃和类异戊二烯烷烃相比,它的抗降解能力界于二者之间。

### 2.1.4 二环倍半萜烷

Bendoraitis (1974)在首次从生物降解原油中检出这类化合物时认为,它们可能来自有关环状三萜类的生物降解和热裂解产物,而黄第藩等(1989)认为,这类化合物很可能主要与藿烷类和细菌活动产物有关。从图 2 可以看到,西北缘稠油中,二环倍半萜的分布与生物降解程度有明显关系。522 井、60014 井和 94247 井稠油 C<sub>14</sub>—C<sub>15</sub>二环倍半萜类基本保持稳定,至重 1 井稠油中, C<sub>14</sub>—C<sub>15</sub>丰度明显降低, C<sub>16</sub>丰度相对升高。其抗降解能力可能在  $\gamma$  胡萝卜烷之后于  $\beta$  胡萝卜烷同时或稍后消失。

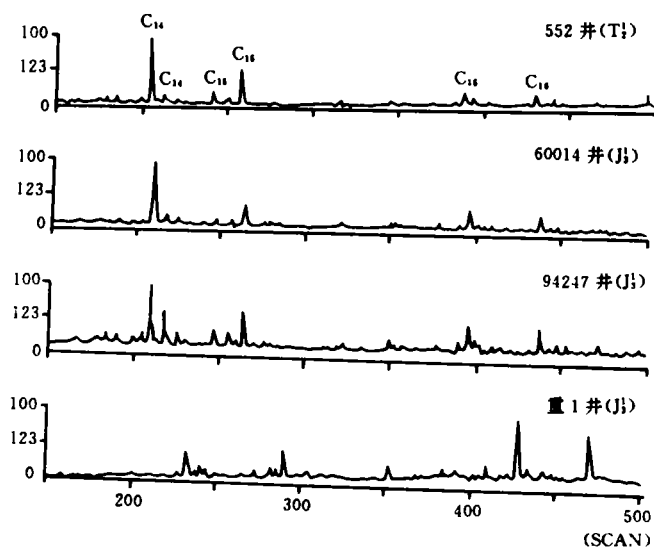


图 2 稠油二环倍半萜烷(m/e 123)质量色谱图

Fig. 2 Dicyclic sesquiterpane (m/e 123) mass chromatograph to heavy oil

### 2.1.5 甾烷

#### 2.1.5.1 规则甾烷

C<sub>27</sub>—C<sub>29</sub>规则甾烷在四<sub>2</sub>区、黑油山和六区稠油中未受到影响,其相对百分含量与未受降解的稀油一致;但在九区稠油中, C<sub>27</sub>甾烷相对含量骤然上升至 20%以上(表 2),而 C<sub>29</sub>甾烷下降至 30%左右,两者相互消长;整个规则甾烷系列中, C<sub>28</sub>甾烷比较稳定。风城稠油中规则甾烷类遭受较强烈破坏,最先降解的是 C<sub>29</sub>- $\alpha\alpha\alpha$ (20R),之后是 C<sub>29</sub>- $\alpha\alpha\alpha$ (20S),而  $\alpha\beta\beta$ 异胆甾烷则相对稳定。吐孜沟油砂中,规则甾烷类全部遭强烈破坏。

#### 2.1.5.2 妊甾烷和重排甾烷

西北缘正常原油中的妊甾烷和重排甾烷含量为6%和10%左右。四<sub>2</sub>区和黑油山稠油反映了与其较一致的特征(表2)。但由六区至风城稠油中,其含量上升至34.71%和24.67%,且含量的增加恰与C<sub>29</sub>甾烷的降低是同步出现的。吐孜沟油砂中,妊甾烷类遭到了破坏,表明生物降解作用已到了十分强烈的程度。

表2 准噶尔盆地西北缘稠油甾萜烷数据

Table 2 Data of Sterane and terpane in heavy oil from northwest margin of Junggar Basin

地区	井号	层位	深度(m)	萜烷(%)			甾烷(%)			规则甾烷(%)		
				三环萜烷	藿烷	γ蜡烷	妊甾烷	重排甾烷	规则甾烷	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>
四 <sub>2</sub> 区	522	T <sub>2</sub>	472.5—512	62.60	33.44	3.96	6.39	11.83	81.78	10.19	41.56	48.25
	45	T <sub>2</sub>	203—212.3	54.64	42.28	3.08	7.15	6.19	86.66	8.24	40.74	51.02
	146	T <sub>2</sub>	412.8—456.8	58.39	38.65	3.56	6.79	12.86	80.36	10.35	40.05	49.60
黑油山	黑油山	T <sub>2</sub>	地面	62.86	33.52	3.61	7.21	13.98	78.81	8.21	41.70	50.09
	黑油山	T <sub>2</sub>	地面	51.60	43.38	5.02	6.44	15.21	78.39	8.72	40.11	51.17
六区	60021	J <sub>1</sub>	255—224	61.84	34.85	3.31	19.03	12.70	68.27	9.74	40.87	49.40
	60014	J <sub>1</sub>	258—216	64.67	31.71	3.62	18.73	13.80	67.47	10.81	41.18	48.01
	检226	J <sub>1</sub>	185.42—191.42	59.02	37.56	3.42	18.94	16.85	64.21	13.65	40.17	46.18
九区	94247	J <sub>1</sub>	200.5—185	56.22	40.85	2.93	18.16	19.27	62.57	16.09	40.38	43.53
	93327	J <sub>1</sub>	279.5—246.5	53.73	43.18	3.09	42.58	17.27	40.15	27.76	43.20	29.04
	96298	J <sub>1</sub>	181.22—185.72	57.78	38.84	3.38	43.36	18.60	38.04	20.71	44.32	34.97
风城	重1	J <sub>1</sub>	264.5—275	56.93	38.03	5.04	34.71	24.67	40.62	30.74	41.30	27.96
	重1	J <sub>1</sub>	251.4—257.6	48.11	45.18	6.17	37.64	33.01	29.35	16.67	58.85	24.48
吐孜沟	吐孜沟	J <sub>1</sub>	地面	75.95	3.58	20.47	/	/	/	/	/	/

### 2.1.6 萜烷

萜烷是一类较甾烷抗降解能力更强的生物标志物,尤以三环萜烷和伽玛蜡烷抗降解能力最强。由表2及图3来看,西北缘各区稠油中藿烷系列、三环萜烷系列和伽玛蜡烷均保存完好。但吐孜沟油砂的萜烷组成中,藿烷类遭到严重降解,各类化合物已无法辨认;低碳数三环萜烷遭受部分降解,但伽玛蜡烷很稳定,在碎片图中成为基峰。可见在强烈的生物降解作用下,藿烷和三环萜烷也是微生物吞噬的对象,伽玛蜡烷由于具有五个6元环结构,抗降解能力相对较强。

### 2.1.7 脱甲基藿烷

除吐孜沟油砂外,其它稠油中都具有较完整的脱甲烷藿烷;吐孜沟油砂中,25-降藿烷已消耗殆尽,只残余丰度较高的25,30-二降藿烷。同伽玛蜡烷的保存情况相比,其抗降解能力低于伽玛蜡烷。

## 2.2 芳烃生物标志物特征

细菌作用对芳烃也有影响。Walker等(1975)指出:正烷烃消失后,芳香烃也受到侵蚀。西北缘稠油的芳烃组成表现了随生物降解作用的加强逐步被摄取的特征。

### 2.2.1 萘系列

从西北缘典型稠油的萘系列质量色谱图(图4)来看,细菌优先消耗单环甲基化结构,60014井稠油仅甲基萘遭受轻微降解,其它则保存完好;94247井稠油降解作用进一步加强,甲

基萘已不复存后,二甲基萘和三甲基萘也大部分损失;重 1 井原油中仅残留四甲基萘。从降解程度来看,抗降解能力高于  $\beta$  胡萝卜烷而低于规则甾烷(20S)。

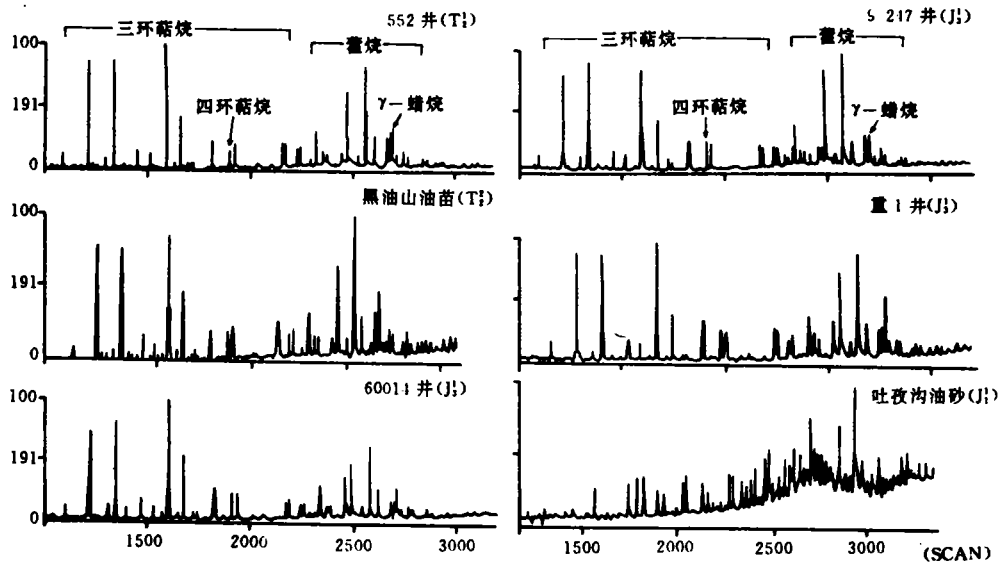


图 3 稠油萜烷(m/e 191)质量色谱图

Fig. 3 Terpane (m/e 191) mass chromatograph to heavy oil

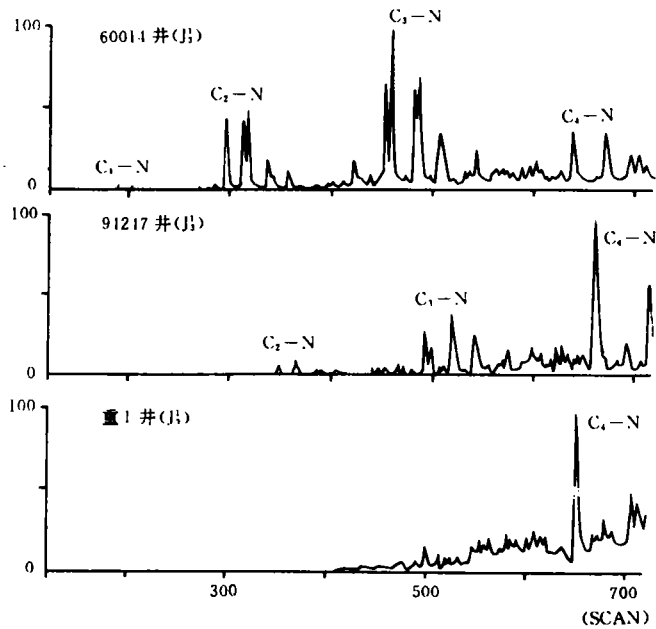


图 4 稠油萘系列质量色谱图

Fig. 4 Naphthalene-series mass chromatograph to heavy oil

### 2.2.2 菲系列

Connan(1981)曾指出:甲基化菲即三环芳烃能在海洋或储层生物降解的原油中保存较长时间。说明这类化合物的抗降解能力很强。由图5看到,60014井菲系列保存完整;94247井稠油中菲和甲基菲遭受轻微降解;而重1井稠油的甲基菲被完全摄取。

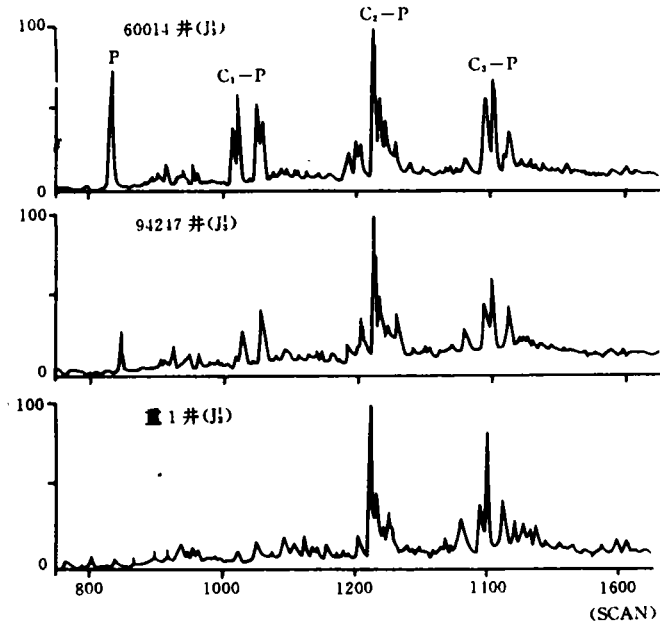


图5 稠油菲系列质量色谱图

Fig. 5 Phenanthrene-series mass chromatograph to heavy oil

### 2.2.3 三芳甾烷

目前,在原油和生油岩中一般见有 $C_{19}-C_{21}$ 和 $C_{26}-C_{28}20S$ 与 $20R$ 构型的三芳甾烷。无论是蚀变作用较强烈的重1井稠油还是蚀变作用较轻的60014井稠油,其三芳甾烷都有完整的分布,从分布形态和指纹特征上看,各稠油具有同源性。无疑,这是一类抗降解能力极强的化合物。

## 3 稠油中生物标志物的抗生物降解序列

根据饱和烃和芳烃中各类生物标志物在不同降解程度稠油中的分布,准噶尔盆地西北缘稠油饱和烃和芳烃中生物标志物的抗生物降解能力依次为:正构烷烃、烷基环己烷(甲基烷基环己烷)、类异戊二烯烷烃、规则甾烷(20R)、 $\gamma$ -胡萝卜素、 $\beta$ -胡萝卜素、二环倍半萜烷、轻芳烃类(萘、联苯系列等)、规则甾烷(20S)、规则甾烷 $\alpha\beta$ 、重芳烃类(菲系列等)、妊甾烷(升妊甾烷)、藿烷类、三环萜烷、重排甾烷、脱甲基藿烷;具有更强抗生物降解能力的生物标志物为伽玛蜡烷和三芳甾烷。

## 4 稠油生物降解作用等级划分

由稠油中生物标志物的抗降解序列并结合稠油的物性特征,可将准噶尔盆地西北缘稠油的生物降解作用划分为五级。

### 4.1 轻微生物降解作用

为四<sub>2</sub>区和黑油山三叠系稠油。在这类稠油中,正烷烃损失,烷基环己烷类部分损失,但类异戊二烯烷烃基本未受影响,如 Pr 和 Ph 保存完好。其稠油密度分布在 0.89—0.91g/cm<sup>3</sup>。

### 4.2 轻度生物降解作用

为六区的侏罗系齐古组稠油。在这类稠油中,正烷烃和烷基环己烷全部损失,类异戊二烯烷烃也大部分损失,规则甾烷(20R)受到轻微影响, $\gamma$ -胡萝卜素保存完好。其稠油密度分布在 0.91—0.93g/cm<sup>3</sup>。

### 4.3 中度生物降解作用

为九区侏罗系齐古组稠油。在这类稠油中,正构烷烃、类异戊二烯烷烃全部损失,规则甾烷(20R)和  $\gamma$ -胡萝卜素亦消耗殆尽, $\beta$ -胡萝卜素丰度明显降低,二环倍半萜和轻芳烃类受到轻微影响,但规则甾烷(20S)没有受到侵蚀。其稠油密度分布在 0.93—0.95g/cm<sup>3</sup>。

### 4.4 重度生物降解作用

为风城侏罗系齐古组稠油。在这类稠油中,不仅链状的正、异构烷烃、胡萝卜素全部损失,而且环状的二环倍半萜、轻芳烃类、规则甾烷(20R、20S)也消耗殆尽,规则甾烷  $\alpha\beta$  和重芳烃类也受到明显影响,而甾烷类比较稳定。其稠油密度分布在 0.95—0.98g/cm<sup>3</sup>。

### 4.5 特重度生物降解作用

为吐孜沟侏罗系八道湾组油砂。前已述及该油砂中正、异构烷烃、胡萝卜素完全消失,甚至一般稠油中常见的甾、萜烷等多环烷烃也几乎全部降解,包括甾烷类、藿烷类、三环萜烷和脱甲基藿烷,但伽玛蜡烷没有受到影响,这无疑是一抗降解能力极强的生物标志物。

## 参 考 文 献

- 杨斌等,1989,中国含油气盆地地源岩评价,北京:石油工业出版社,484—499页。
- 黄第藩等,1989,石油与天然气地质,10卷4期,337—345页。
- 蒋助生,1983,石油与天然气地质,4卷2期,151—158页。
- Bendoraitis, J. G., 1974, In *Advances in Organic Geochemistry*, 1981, p. 659—667.
- Connan, J., 1981, *Bull. Centre. Rech. Explor—Prod. Elf—Aquitaine* 5(1), p. 151—171.
- Hoffmann, G. F., et al, 1987, *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 51, p. 2681—2697.
- McAuliffe, C. J., 1966, *Phys. Chem.* V. 70, p. 1267—1275.
- Rubinstein, I. et al, 1977, *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 41, p. 1341—1353.
- Volkman, J. K. et al, 1983, *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 47, p. 1033—1040.

# Characteristics of Heavy Oil Biodegradation in the Northwestern Margin of Junggar Basin

Wang Yutao

(Research Institute of Exploration & Development, Xinjing Petroleum Administration Bureau)

## Abstract

An abundance of heavy oil resources is contained in the North western Margin of Junggar Basin. Given GC/MS analyses of saturates and aromatics within its mainly developed areas, it shows a different biodegradation in place to place and corresponding to its differential compositions. To the former, an analysis with GC/MS suggests that most degradations for n-alkanes and branched alkanes occurred, but steroids and terpane and so on cyclic hydrocarbon are well preserved in it in these areas except Feng-cheng area and Tuzigou area. To the latter, a similar feature occurred with the saturates, also having an alternative microbial erosion to it from the features of Naphthalene, Phenanthrene, Tri-aromatic steroids (fragment) that is absorbed in order in preference of light aromatics followed by heavy aromatics. In identical numbers of carbon to them, they have more powerful biodegradation-resisted capability than that of the saturates.

Based on the distribution of each biomarker in the heavy oils existing variable degradations, these biomarkers in the saturates and aromatics of this capability successively as follows, n-alkanes, alkyl-cyclohexane (methylalkyl-cyclohexane), isoprenoids hydrocarbons steroids (20R),  $\gamma$ -carotane,  $\beta$ -carotane, Bicyclic sesquiterpenes light aromatic (Naphthalene), steroids (20S), steroids ( $\alpha\beta\beta$ ), weight aromatic (phenanthrene), C<sub>21</sub>-steroids (C<sub>22</sub>-steroids), hopanes, tricyclic terpane, rearranged, sterane, demethylated hopanes, with more powerful capability of gammacerane, and tri-aromatic steroids.

In view of this order integrated with the features of the heavy oil studied, a classification of its biodegradation into following five ranks:

- 1) Slight biodegradation. It occurred in district N-2 and Heiyonshan (Triassic), having 22.5-27.5° API oil.
- 2) Low biodegradation. It occurred in district W (Jurassic), having 19-24° API oil.
- 3) Intermediate biodegradation. It occurred in district X (Jurassic), having 16-21° API oil.
- 4) High biodegradation. It occurred in Fengcheng (Jurassic), having 11.5-17.5° API oil.
- 5) Superhigh biodegradation. It occurred in Tuzigou (Jurassic), the tar sand has a gravity below 13° API.