

# 塔里木盆地凝析油单体烃 碳同位素特征与成因分析<sup>①②</sup>

<sup>1</sup>张文正 <sup>1</sup>咎川莉 <sup>2</sup>李先奇 <sup>2</sup>关德师 <sup>2</sup>戴金星 <sup>3</sup>徐永昌

<sup>1</sup> (长庆石油勘探局勘探开发研究院, 庆阳 745100)

<sup>2</sup> (中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院, 北京 100083)

<sup>3</sup> (中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 兰州 730000)

**提 要** 对采自塔里木盆地不同地区和层位的 14 个凝析油样进行了 GC/C/MS 在线(Online)碳同位素分析, 获得了液态烃系列单分子碳同位素组成资料。在此基础上, 探讨了不同时代凝析油的单体烃碳同位素特征, 并进行了油-油的对比与成因分类。结果表明, 塔里木盆地存在煤成油、油型油与混合成因油三种类型。其中油型油又可按母岩的时代划分为奥陶系(寒武系)、石炭系、三叠系三种类型。煤成油的源岩为侏罗系煤系源岩。佐证了该盆地存在四套现实的烃源岩(即奥陶-寒武系、石炭系、三叠系和侏罗系)。

**关键词** 单分子碳同位素 凝析油 特征 成因 塔里木盆地

**第一作者简介** 张文正 男 34 岁 高级工程师 地球化学

塔里木盆地是一个在古生代地台基础上发展起来的中-新生代叠合型盆地, 也是我国陆上最大的含油气盆地, 面积约  $56 \times 10^4 \text{km}^2$ 。经过四十余年的油气勘探, 已先后发现了依奇克里克油田、柯克亚油气田, 以及塔北的轮南、桑塔木、吉拉克、东河塘油气田等, 在塔中发现了塔中 4 号油气田, 此外在英买力、轮台断垒带及塔中隆起北斜坡等发现了寒武系、奥陶系、石炭系、侏罗系、白垩系及第三系油气, 这些都进一步表明该盆地具有广阔的油气勘探前景。

鉴于塔里木盆地存在多套生油岩系, 且油气产出层的地质时代分布广泛, 即从奥陶系—上第三系均有油气产出, 因而原油成因研究与油气源对比就显得十分复杂, 而且实际生产中急需解决油气源对比问题, 故油气源研究不仅在理论上, 同时在油气资源评价与勘探具有重要的意义。近年来, 国内不少学者(黄第藩, 1990; 杨斌等, 1988; 朱扬明等, 1992)对塔里木盆地的油源问题展开了研究, 取得了丰硕的成果, 但在某些方面尚存在不同看法。我们运用原油单体烃系列碳同位素这一新资料就塔里木盆地原油成因等问题做一些探讨。

## 1 塔里木盆地各时代凝析油的单体烃碳同位素特征

对塔北、塔中隆起部分并不同时代的 14 个凝析油样(表 1)进行了 GC/C/MS 在线碳同

① 国家自然科学基金资助项目(49173162)。

② 中国科学院兰州地质研究所生物气体地球化学国家重点实验室资助课题。

位素分析,并将有关资料绘制成图1、2。

表1 塔里木盆地凝析油(轻质油)样品表

Table 1 Condensate oil (light oil) samples in Tarim Basin

编号	井号	所在构造名称	层位(产层)	井深(m)
Y <sub>1</sub>	JL 107	塔北隆起	C	5389~5396
Y <sub>2</sub>	TZ 1	塔中隆起	O	3586~3644
Y <sub>3</sub>	YM 9	塔北隆起	E	4683~4644
Y <sub>4</sub>	LN 4	"	O	5113.6~5166.75
Y <sub>5</sub>	LN 48	"	O	5436~5470
Y <sub>6</sub>	LN 57	"	T <sub>1</sub> (I油组)	4341.8~4344
Y <sub>7</sub>	T 1	"	N	4836.5~4839.5
Y <sub>8</sub>	T 1	"	E	5056~5061
Y <sub>9</sub>	JN 106	"	T	4321.5~4327
Y <sub>10</sub>	LN 9	"	C	5218~5222
Y <sub>11</sub>	LN 22	"	C	5090.55~5130.25
Y <sub>12</sub>	LN 44	"	C	5084~5095
Y <sub>13</sub>	J 102	"	T	4336~4342
Y <sub>14</sub>	S 7	"	O	

### 1.1 奥陶系凝析油

奥陶系油样有四个,从图1可以看出,S7、LN4、LN48井的轻烃单体分子的碳同位素组成相近,其单个分子的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大都在 $-29\text{‰} \sim -31\text{‰}$ 之间。同结构不同碳数及不同结构烃分子之间无明显的碳同位素分馏,仅LN48井的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{甲烷}}$ 值偏正,为 $-27.64\text{‰}$ 。TZ1井油样中轻烃单体分子的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大都在 $-26.5\text{‰} \sim -28.0\text{‰}$ 之间,与其它油样相比明显富集 $^{13}\text{C}$ 。

从图2可以看出,S7井与LN4井油样的 $\text{nC}_5^+$ 正构烷烃分子系列碳同位素组成十分接近, $\text{nC}_5 \sim \text{nC}_9$ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-30\text{‰} \sim -32\text{‰}$ 之间, $\text{nC}_9^+$ 单分子的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大都在 $-33\text{‰} \sim -34\text{‰}$ 之间,呈“厂”型分布,据以前同类型研究成果(张文正等,1993)推断,其成熟度较高。另外,这两个油样的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Pr}}$ 为 $-34\text{‰}$ 左右, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Ph}}$ 为 $-37\text{‰}$ 左右,也很接近,且均呈 $\delta^{13}\text{C}_{\text{Ph}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{Pr}}$ 。LN48井油样的 $\text{nC}_5 \sim \text{nC}_8$ 单分子 $\delta^{13}\text{C}$ 值与LN4、S7井油样相近或略偏正, $\text{nC}_9^+$ 分子系列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要分布在 $-29.5\text{‰} \sim -31.5\text{‰}$ 之间,约偏正 $2.5\text{‰}$ ,并且 $\text{nC}_5^+$ 分子系列碳同位素呈弱“厂”型分布。TZ1井油样的 $\text{nC}_5^+$ 分子系列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在 $-27\text{‰} \sim -32\text{‰}$ 之间,随着碳数增加,正构烷烃分子的 $\delta^{13}\text{C}$ 值逐步变负,呈“/”单斜型分布,由此可见,奥陶系凝析油的成因较为复杂。

### 1.2 石炭系凝析油

从图1、2可见,石炭系凝析油轻烃单体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大都分布在 $-28\text{‰} \sim -30\text{‰}$ 之间,四个样品均较为相似,且不同结构和不同碳数烃分子之间也不存在明显的碳同位素分馏。 $\text{nC}_5^+$ 正构烷烃分子系列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也很接近,主要分布在 $-29.5\text{‰} \sim -31.5\text{‰}$ 之间,并随着碳数

的增加,  $\delta^{13}\text{C}$  值略有变负, 这可能反映了石炭系混合型为主的母岩特征以及较高的成熟度。

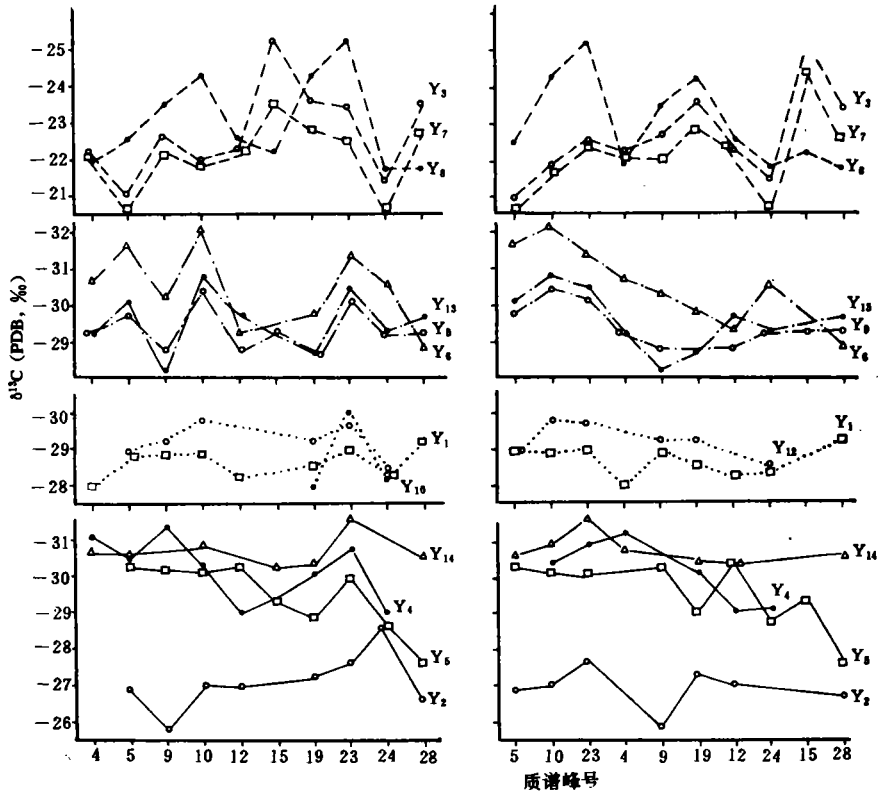


图1 塔里木盆地不同时代凝析油轻烃单体碳同位素分布及其对比

Fig. 1 Distribution and comparison of carbon isotopes of light hydrocarbon monomers in condensate oils with different ages in Tarim Basin

### 1.3 三叠系凝析油

从图1可以看出, J102井和JN106井油样的轻烃单体分子的碳同位素组成十分接近,  $\delta^{13}\text{C}$  值的主要分布区间为  $-28.5\% \sim -30.0\%$ , LN57井油样的轻烃单体中正、异构烷烃的  $\delta^{13}\text{C}$  值比 J102井和JN106井油样偏负  $1\% \sim 2\%$ , 环烷烃和芳烃很接近, 这一差异从以前的研究成果看(张文正等, 1993)<sup>[1]</sup>, 可能反映了LN57井油样的成熟度要低于J102和J106井的油样。另外, 这三个油样的轻烃单体分子之间均存在较为明显的碳同位素分馏, 即总体上正构烷烃分子的  $\delta^{13}\text{C}$  值要比其它结构烃分子偏负  $1\% \sim 2\%$ , 异构烷、环烷和芳烃的碳同位素组成很相似。从图2来看, 三个三叠系样品的  $n\text{C}_9^+$  正构烷烃分子系列碳同位素组成及分布十分接近。因而, J102井和JN106井油样的  $n\text{C}_5^+$  分子系列的  $\delta^{13}\text{C}$  值呈“厂”型分布, 即  $n\text{C}_5 \sim n\text{C}_9$  的  $\delta^{13}\text{C}$  值比  $n\text{C}_{10}^+$  系列偏正  $1\%$  以上, 反映出成熟度较高。LN57井油样的  $n\text{C}_5^+$  分子系列  $\delta^{13}\text{C}$  值呈“一”型分布, 反映其成熟度要相对低一些。

### 1.4 上、下第三系凝析油

我们曾经研究过柯克亚油气田上第三系轻质油的轻烃单体和正构烷烃分子系列碳同位

素特征(张文正等,1993)<sup>(2)</sup>,指出该地区上第三系轻质油具混源成因特征(也可能其母岩为以Ⅲ型为主的混合型源岩)。

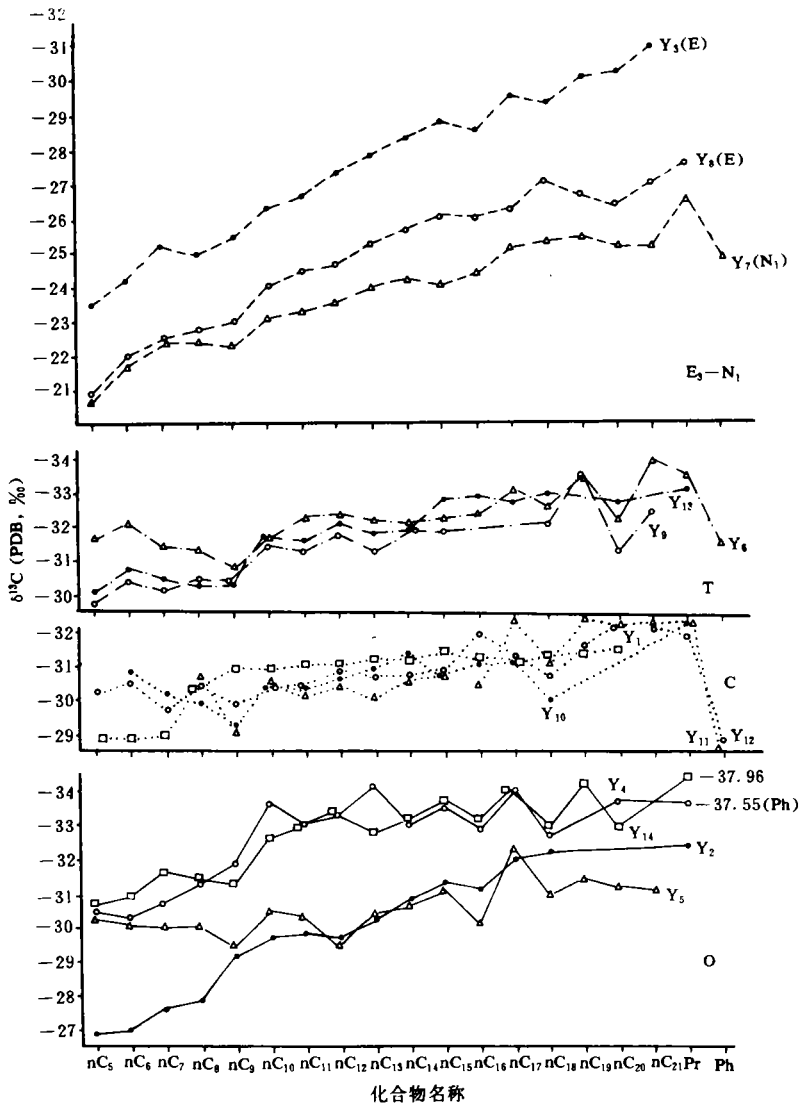


图2 塔里木盆地不同时代凝析油正构烷烃碳同位素分布及对比  
 Fig. 2 Distribution and comparison of carbon isotopes of n-alkanes in condensate oils with different ages in Tarim Basin

图1、2'绘出了T1井上、下第三系、YM9井下第三系凝析油的轻烃单体和正构烷烃系列碳同位素分布曲线。这三个样品中以T1井上第三系凝析油的轻烃单体和正构烷烃系列最富<sup>13</sup>C,其中苯和甲苯的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均大于 $-24.49\%$ 和 $-22.75\%$ ,正构烷烃的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均大于 $-25\%$ , $\text{nC}_5^+$ 分子系列碳同位素呈“/”型分布,属于较为典型的煤成油。T1井下第三系凝析油的轻烃单体碳同位素组成与上第三系凝析油相似,但 $\text{nC}_{10}^+$ 分子的 $\delta^{13}\text{C}$ 值要偏负2%左右,

因而  $nC_5^+$  正构烷烃分子系列碳同位素分布曲线呈更为明显的“/”型分布。与 T 1 井下第三系凝析油相比, YM 9 井下第三系凝析油相对富集  $^{12}C$ ,  $nC_5^+$  系列分子的  $\delta^{13}C$  值随着碳数的增加越来越负, 幅度达 5‰ 左右, 呈最明显的“/”型分布。

## 2 凝析油对比及成因分析

前面的讨论已初步表明, 石炭系、三叠系凝析油各自具有相似的单体烃碳同位素特征, 因而这两个层系的凝析油的成因可能较为单一, 但上、下第三系以及奥陶系凝析油的成因显然较为复杂。

总的来看, 奥陶系、石炭系、三叠系凝析油单体烃相对富  $^{12}C$ , 具油型油特征。为了进一步的分析对比, 并尽可能消除分析中偶然误差等带来的影响, 我们选择了与成熟度关系相对较为密切的  $nC_5 \sim nC_8$  的平均  $\delta^{13}C$  值 (以  $\delta^{13}C_A$  表示), 以及受成熟度影响很小的甲苯和甲基环己烷的平均  $\delta^{13}C$  值 (以  $\delta_{13}C_C$  表示) 和  $nC_{13} \sim nC_{16}$  的平均  $\delta^{13}C$  值 (以  $\delta^{13}C_B$  表示) 为特征值进行油-油对比, 有关资料见表 2, 并以  $\delta^{13}C_A$  为纵坐标、 $\delta^{13}C_B$  和  $\delta^{13}C_C$  为横坐标绘制成原油成因分类图 (图 3)。图 3 中还标出了我国其它一些地区较典型成因油的分布区。值得指出的是, 图中油型油、煤成油及混合型油的分布区域界限是根据我们目前所做的工作结果确定的。

表 2 塔里木盆地奥陶系、石炭系和三叠系凝析油的特征组分碳同位素对比

Table 2 Carbon isotopic comparison for characteristic components of the Ordovician, Carboniferous and Triassic condensate oils

$\delta^{13}C$ (PDB‰)		特征组分	$C_6 \sim C_7$ 环烷和芳烃	$C_5 \sim C_8$ 正构烷烃	$nC_{10}^+$ 正构烷烃
层位					
三叠系			-29~-30	-30~-32	-31.5~-33
石炭系			-28~-29.5	-29~-31	-30~-31.5
奥陶系	S 7、LN 4		-29~-30.5	-30~-31	-33~-34
	LN 48		-28.5~-30	-30±	-30~-31.5
	TZ 1		-27~-27.5	-26~-28	-30~-31.5

从表 2、图 3 中可以清楚地看出, 奥陶系、石炭系、三叠系三个层位的油型油之间仍有差别, 即奥陶系凝析油的特征值  $\delta^{13}C_B$  和  $\delta^{13}C_C$  最偏负, 而石炭系的则最偏正, 差值约在 2‰ 左右, 三叠系凝析油介于二者之间。由此初步推断, 塔里木盆地中生界-古生界存在三种不同的油型油, 它们的母岩分别是奥陶系 (寒武系) 海相碳酸盐岩、石炭系海陆交互相生油岩和三叠系陆相生油岩。

另外, 从图 3 和表 2 还可以看出, LN 48 井奥陶系凝析油的  $\delta^{13}C_B$  和  $\delta^{13}C_C$  值与石炭系凝析油相似, 而与 S 7 井和 LN 4 井奥陶系凝析油有明显区别, 那么 LN 48 井奥陶系凝析油可能来自于上部石炭系生油岩。TZ 1 井奥陶系凝析油的  $\delta^{13}C_A$  值既与奥陶系 (S 7、LN 4 井)、石炭系和三叠系油型油有较大差别, 又与煤成油明显不同, 而其  $\delta^{13}C_B$  和  $\delta^{13}C_C$  值与石炭系凝析油相似, 可以认为, TZ 1 井奥陶系凝析油可能属于煤成油与石炭系油型油的混合。

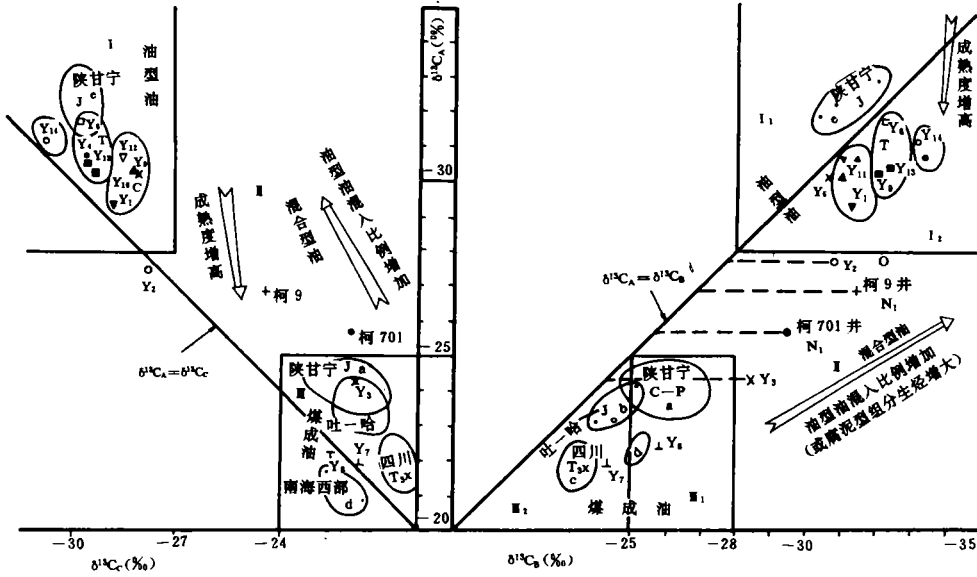


图3 塔里木盆地凝析油(轻质油)单体烃碳同位素成因分类图

Fig. 3 Genetic classification of monomer by carbon isotopes in condensate oils (light oils) in Tarim Basin

T 1 井上第三系凝析油单体烃具富<sup>13</sup>C 特征,与我国其它地区的煤成油很相似(图 3),属煤成油,T 1 井下第三系凝析油虽然  $\delta^{13}C_B$  和  $\delta^{13}C_C$  比上第三系略偏负,但总体上仍具煤成油的特征,也可能有少量油型油的混入。YM 9 井下第三系凝析油的  $\delta^{13}C_A$  与  $\delta^{13}C_C$  值与煤成油相似,但  $\delta^{13}C_B$  值与煤成油不同,也就是说,该油样的轻组分碳同位素接近煤成油特征,而重组分的碳同位素组成接近油型油的特征,结合前已提及的该油样的  $nC_5^+$  碳同位素明显呈“/”型分布,综合分析其为混合型油,但油型油混入比例要比柯克亚上第三系凝析油中油型油的混入比例少。

### 3 结 论

(1)塔里木盆地目前在不同层位发现的凝析油包括了多种成因类型——油型油、煤成油和混合型油。其中油型油又可根据单体烃碳同位素组成特征划分为奥陶系油型油、石炭系油型油和三叠系油型油,它们分别与寒武-奥陶系、石炭系和三叠系三套生油岩相对应。上、下第三系的煤成油(如 T 1 井)可能来自侏罗系煤系源岩。这些从一个方面佐证了塔里木盆地至少存在着寒武-奥陶系、石炭系、三叠系和侏罗系四套源岩。

(2)在奥陶系和上、下第三系存在着混合成因的原油,如 TZ 1 井奥陶系凝析油、YM 9 井下第三系凝析油和柯克亚上第三系凝析油等。混合成因油的端元组分——油型油和煤成油的来源有待于结合地质条件进一步研究。另外,我们的研究表明,LN 48 井奥陶系产层中可能有来自石炭系生油岩的凝析油。这些均说明塔里木盆地油气运移、聚集的复杂性。因此,在油气勘探中寻找自生自储型油气藏的同时,也要重视下生上储和上生下储型油气藏。

收稿日期:1994年3月12日

### 参 考 文 献

- [1] 张文正、裴戈、关德师、程坤芳,1993,中国几个盆地原油轻烃单体和正构烷烃系列分子碳同位素研究,地质论评,39(1):79~88。
- [2] 张文正、裴戈、关德师、程坤芳,1993,烃源岩热解油的轻烃单体和正构烷烃分子碳同位素特征,石油学报,14(1):42~50。

## Carbon Isotopic Characters of Monomer Hydrocarbons and Origin Analysis of Condensate Oils in Tarim Basin

<sup>1</sup>Zhang Wenzheng <sup>1</sup>Zan Chuanli <sup>2</sup>Li Xianqi <sup>2</sup>Guang Deshi

<sup>2</sup>Dai Jinxing and <sup>3</sup>Xu Yongchang

<sup>1</sup> (Exploration and Development Institute, Changqing Petroleum Exploration Bureau, Qingyang 745100)

<sup>2</sup> (Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 10083)

<sup>3</sup> (Lanzhou Institute of Geology, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

### Abstract

By analysing GC/C/MS on line carbon isotopes of 14 condensate oil samples from different areas and measures in the Tarim basin, we get carbon isotopic compositions of monomeric molecules of the liquid hydrocarbon system. Based on the data, we have discussed the carbon isotopic characters of monomeric molecules in condensate oils with different ages, and made oil-oil comparison and origin classification. It shows that there are the coal-type oil, oil type oil and mixing type oil in Tarim basin, in which oil type oil can be divided into three sub-types by the age of source rocks: the Ordovician (Cambrian), Carboniferous and Triassic. The source rocks of the coal-type oil is Jurassic coal measures, showing the Tarim basin has 4 sets of practical source rocks (Ordovician-Cambrian, Carboniferous, Triassic and Jurassic).

**Key Words:** Monomeric carbon isotope Condensate oil character Origin Tarim Basin