

吐哈盆地原油和烃源岩单烃碳同位素组成特征及油源对比探讨

杨家静¹ 胡伯良²

¹(四川石油管理局地质勘探开发研究院,成都 610051) ²(中国科学院兰州地质研究所,兰州 730000)

摘要 本文测定了吐哈盆地原油和部分烃源岩的单烃碳同位素组成,利用单烃碳同位素组成及其分布模式和样品生物标志物的分布和组合特征研究沉积环境和母质输入特征,进行原油成因类型划分和油源对比探索。吐哈盆地原油可划分为三类:一类是典型沼泽相—湖沼相煤成油,如台北凹陷各油田侏罗系原油;二类是湖相原油,如托参1井三叠系原油;三类是浅湖相原油,如胜金口油田中侏罗统原油。油源对比认为目前吐哈盆地侏罗系产出的原油由中下侏罗统煤系地层有机质生成,而托克逊凹陷三叠系原油由上二叠统湖相泥岩生成。

关键词 吐哈盆地 煤成油 气相色谱—同位素比值质谱,单烃碳同位素组成 生产标志物

分类号 P 618.130.1

第一作者简介 杨家静 男 28岁 硕士 工程师 有机地球化学

1 概况

气相色谱—同位素比值质谱(GC-IRMS)技术80年代末才开发和应用起来^[16,9]。进入90年代该技术已广泛应用于生物地球化学、古环境地球化学和有机地球化学等领域,尤其近些年应用沉积有机质中单个生物标志物的碳同位素组成进行生源研究和沉积古环境的判识^[13]已取得较大进展。Bjoroy et al.^[10,11]和 Clayton^[13]已在北海各油田将该技术应用于石油地球化学研究中,国内张文正等^[4,5]和赵孟军等^[6,7]也在进行这方面的研究工作。

研究区位于新疆东部,以燎墩隆起为界分为东部的哈密凹陷和西部的吐鲁番凹陷,吐鲁番凹陷以火焰山大断为界分为台北凹陷和托克逊凹陷。多年勘探实践表明,上二叠统、中上三叠统和中下侏罗统为盆地烃源岩层。其中中侏罗统的原油来自中下侏罗统煤系地层有机质,属典型的煤成油^[3,2,8]。

测样包括盆地内各油气田钻井分层测试的轻质油,烃源岩包括钻井取芯泥岩、煤及露头煤。此外,作为对比,还选取了台参2井三个油砂和塔里木盆地两个原油。

烃源岩粉碎至100目后用氯仿进行索氏抽提,原油和烃源岩抽提物脱沥青质后过色层柱进行族组

份分离,用正己烷洗脱饱和烃馏分。饱和烃色谱分析:弹性石英毛细管柱,30 m×0.25 mm,SE-5,480 °C/min 300 °C (40 min)。饱和烃质谱分析:R&W弹性石英毛细管柱,30 m×0.25 mm,DB-5,100 °C (3 min) 8 °C /3 min 125 °C 2 °C /min 320 °C (20 min),EI离子源,源温度250 °C,电流0.2 mA,电离能70 eV。饱和烃气相色谱—同位素比值质谱分析:弹性石英毛细管柱,25 m×0.32 mm,SE-54,50 °C (5 min) 3 °C /min 136 °C (1 min) 1 °C /min 146 °C (1 min) 3 °C /min 290 °C (5 min),汽化温度250 °C,高压12 Psi,分流比20:1,质谱高电压10 kV,阱电压32 V,发射电流1.4 mA,灯丝电流6 A,绝对灵敏度1/500,分辨率200,精度0.1‰,标准CO₂(99.999%)作校正气,参照PDB标准^[14]。

2 讨论

2.1 原油正构烷烃单烃碳同位素组成特征及其分布模式

(1)I型为咸水海相原油,如塔里木盆地沙参2井和曲3井原油,其 $\delta^{13}C$ 值介于-32.5‰~-35.5‰之间,并且随碳数增加其单烃碳同位素组成略变重(图1) Pr/Ph < 1.0, Pr/nC₁₇ < Pr/nC₁₈;规则甾烷相对百分含量C₂₉甾烷小于5%,C₂₇和C₂₈在30%左

右,并且 C_{18} 比 C_{27} 稍高,反映塔里木盆地原油形成于较还原环境,母质输入以菌藻类和低等水生生物为主。

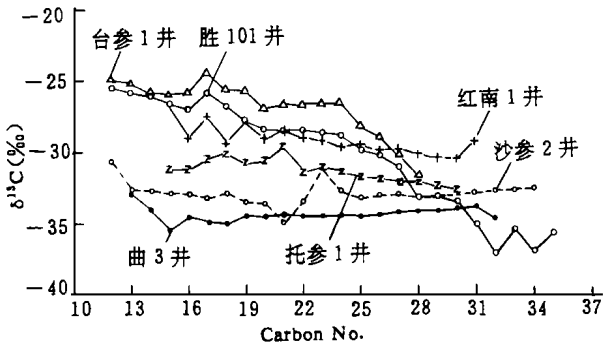


图 1 吐哈盆地和塔里木盆地原油正构烷烃单烃碳同位素组成和分布模式

Fig. 1 Isotope compositions and distribution model of individual n-alkanes of crude oils from the Turpan-Hami Basin and Tarim Basin

(2)II 型为淡水—咸化湖相原油,如托克逊凹陷托参 1 井原油,其 $\delta^{13}C$ 值介于 -30.5‰ ~ -32.5‰ 之间,随碳数增加其单烃碳同位素组成略变轻。 Pr/Ph 为 1.22, $Pr/nC_{17} \approx Pr/nC_{18}$; C_{29} 甾烷含量小于 50%, C_{27} 甾烷含量大于 C_{28} 这些均反映托克逊凹陷原油形成于弱还原环境,母质输入以低等水生生物为主。

(3)III 型为淡水—咸化湖沼相原油,其单烃碳同位素组成比 I 和 II 型原油重,并且随碳数增加其单

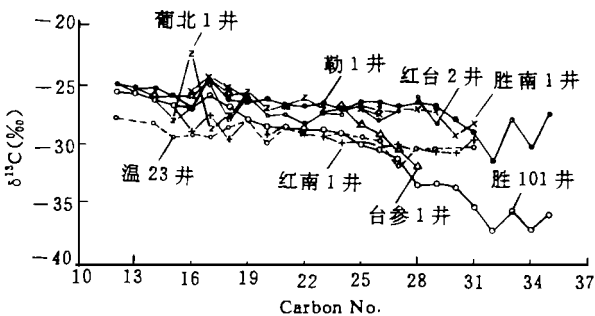


图 2 吐哈盆地原油正构烷烃单烃碳同位素组成和分布模式

Fig. 2 Isotope compositions and distribution model of individual n-alkanes of crude oils from the Turpan-Hami Basin

烃碳同位素组成变轻(图 1 和图 2) 它们又可分为两类: III₁ 型是典型的淡水—咸化沼泽相煤成油,其单烃碳同位素组成最重, $\delta^{13}C$ 值介于 -24.5‰ ~ -28.5‰ 之间,主要是台北凹陷除胜金口油田外各油田的原油, $Pr/Ph > 3.0$, $Pr/nC_{17} > Pr/nC_{18}$, C_{29} 甾烷含量不低于 55%, 大多数分布在 60%~75% 之间, C_{27} 和 C_{28} 含量均较低,反映台北凹陷原油形成于氧化—弱氧化环境,母质输入以陆源高等植物为主; III₂ 型是滨浅湖相原油,其 $\delta^{13}C$ 值介于 -27.5‰ ~ -31.0‰ 之间,如胜金口油田原油, Pr/Ph 值介于 2.0~3.0 之间, $Pr/nC_{17} > Pr/nC_{18}$, C_{29} 甾烷含量小于 50%, C_{27} 甾烷含量比 C_{28} 高,并且在 30%~40% 之间变化,表明原油形成于弱氧化—弱还原环境,母质输入虽仍以陆源高等植物为主,但低等水生生物和菌藻类输入量的增加,导致母质类型变好。

2.2 烃源岩抽提物正构烷烃单烃碳同位素组成特征

(1)I 类是中下侏罗统沼泽相煤岩,如草南 1 井、葡 1 井和三道岭矿井煤,其 $\delta^{13}C$ 值介于 -24.5‰ ~ -29.5‰ 之间,个别化合物 $\delta^{13}C$ 值跳跃较大(图 3), $Pr/Ph > 6.0$, $Pr/nC_{17} > Pr/nC_{18}$, C_{18} , C_{29} 甾烷含量均大于 65%,反映煤岩形成于氧化—弱氧化环境,母质输入以陆源高等植物为主。

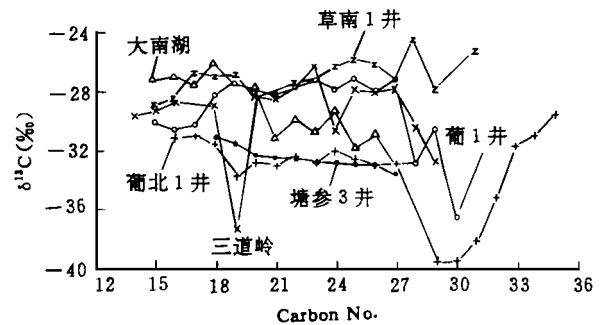


图 3 吐哈盆地烃源岩正构烷烃单烃碳同位素组成和分布模式

Fig. 3 Isotope compositions and distribution model of individual n-alkanes of crude rocks from the Turpan-Hami Basin

(2)II 类是中侏罗统七克台组浅湖相泥岩,如葡北 1 井,其 $\delta^{13}C$ 值介于 -31.0‰ ~ -34.0‰ 之间,随碳数增加其单烃碳同位素组成略变轻, $Pr/Ph < 1.0$, $Pr/nC_{17} < Pr/nC_{18}$, C_{29} 甾烷含量小于 50%, 而 C_{27} 甾烷大于 30%,反映七克台组泥岩形成于弱还原环境,母质输入以低等水生生物和菌藻类为主。

三塘湖盆地参 3井二叠系泥岩单烃碳同位素组成与葡北I 井泥岩接近。

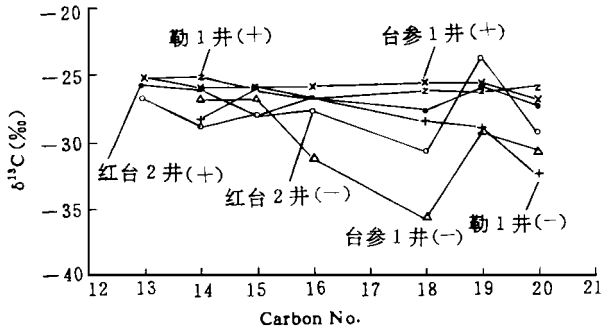


图 4 吐哈盆地原油正构烷烃和类异戊二烯烷烃单烃碳同位素组成对比

Fig. 4 comparison of isotope compositions of individual n-alkanes and isoprenoids of crude oils from the Turpan-Hami Basin

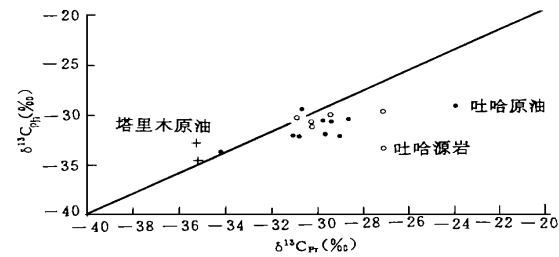


图 5 吐哈盆地原油和烃源岩 δ³C_{Pr}和 δ³C_{Ph}相关关系

Fig. 5 Relationship of δ³C_{Pr} and δ³C_{Ph} of crude oils and source rocks in the Turpan-Hami Basin

(3)III类是哈密坳陷大南湖西山窑组煤岩,其单烃碳同位素组成分布在I 类和II 类之间,分布特殊(图 3),你碳数化合物(于小 C₂₁)碳同位素组成与I 类接近,而高碳数化合物(大于 C₂₁)碳同位素组成与II 类接近,Pr/Ph为 3. 5, Pr/nC₁₇> Pr/nC₈, C₂₉甾烷含量达 65%左右, C₂₇或 C₂₈甾烷含量达 24%左右,反映其形成于弱氧化环境,母质输入以陆源高等植物为主,但低等水生生物和菌藻类输入量增加,母质类型变好。此外,从 C₂₁至 C₂₈偶碳数化合物碳同位素组成比奇碳数化合物重, Kennicut III 和 Brooks^[17]在新西兰近岸沉积物中也有类似发现。

2.3 原油和烃源岩类异戊二烯烷烃单烃碳同位素组成特征

吐哈盆地原油类异戊二烯烷烃单烃碳同位素组成比相应碳数正构烷烃轻(图 4)

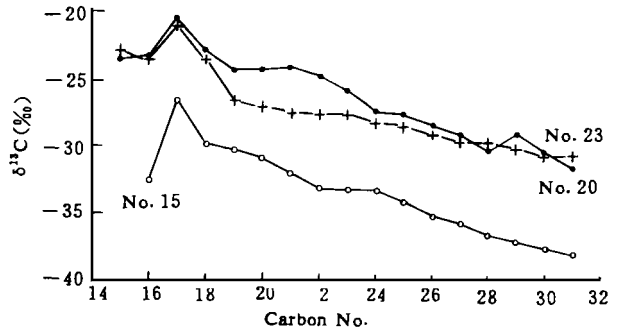


图 6 吐哈盆地台参 2井油砂残余油正构烷烃单烃碳同位素组成对比

Fig. 6 Comparison of isotope compositions of individual n-alkanes in residual oils from the Taican 2 well in the Turpan-Hami Basin

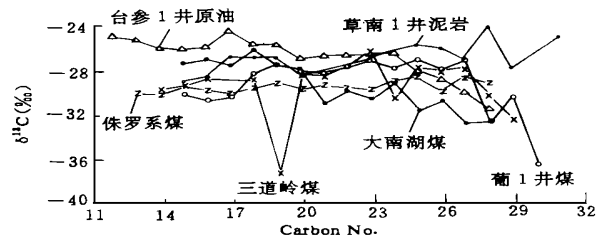


图 7 吐哈盆地煤成油和煤岩正构烷烃单烃碳同位素组成对比(侏罗系煤数据引自 BJOROY M. et al. 1992)

Fig. 7 Comparison of isotope compositions of individual n-alkane in coal measured oils and coal from the Turpan-Hami Basin(The isotope ratio of J-coal is form BJOROY M. et al. 1992)

无论原油还是烃源岩,老藿烷(Pr)和植烷(Ph)碳同位素组成接近,在图 5中均靠近 45°斜线分布,说明 Pr 和 Ph 具有共同的先质来源。塔里木盆地海相原油和台参 2井齐古组油砂(No. 15)分布在图左下方斜线之上,δ³C 值介于 -34. 0‰~ -35. 5‰之间,δ³C_{Pr}< δ³C_{Ph},反映成油母质具有较轻的碳同位素组成,原油形成于还原环境,水体盐度较高,低等水生生物和菌藻类发育。Pr/Ph< 2. 0 高丰度的γ-蜡烷和高比值的三环萜/五环萜更充分地说明了这一点。吐哈盆地原油和烃源岩多数分布在图中部斜线之下,δ³C 介于 -28. 5‰~ -32. 5‰之间,δ³C_{Pr}> δ³C_{Ph},说明成油母质具有较重的碳同位素组成,沉积有机质沉积于氧化环境,水体盐度低,低等水生

生物和菌藻类不发育; Pr/Ph > 2.5, γ -蜡烷丰度低, 三环萜/五环萜比值低。红台 2 井原油分布在斜线下方并且远离斜线, $\delta^{13}C_{Pr} > \delta^{13}C_{Ph}$, 疑为运移同位素分馏作用导致 Pr 富集 ^{13}C 而 Ph 富集 ^{12}C 。

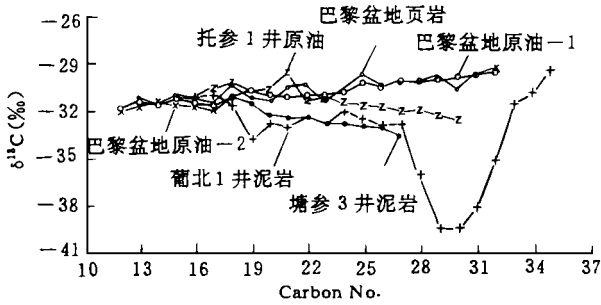


图 8 吐哈盆地湖相原油和泥岩正构烷烃单烃碳同位素组成对比 (巴黎盆地页岩和原油数据引自 Bjoeroy M. et al. 1992)

Fig. 8 Comparison of isotope compositions of individual n-alkanes in lacustrine oils and mudstones from the Turpan-Hami Basin (The isotope ratio of shales and oils from the Paris basin is from Bjoeroy M. et al. 1992)

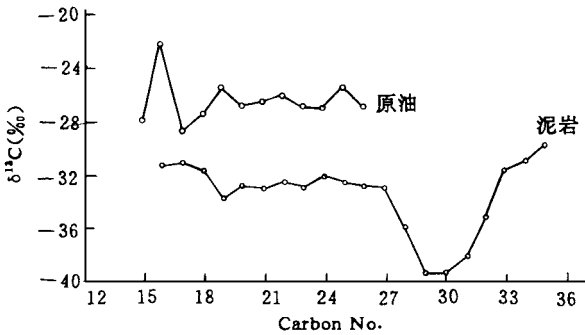


图 9 吐哈盆地葡北 1 井原油和泥岩正构烷烃单烃碳同位素组成对比

Fig. 9 Compositions of isotope compositions of individual n-alkanes in crude oils and mudstones from the Pubci-1 well in the Turpan-Hami Basin

2.4 成熟度对碳同位素组成的影响

台参 2 井三个油砂残余油正构烷烃单烃碳同位素组成分布与前述 III 型原油有共同的特征。由于母质输入的差异, 齐古组油砂 (No. 15) 与西山窑组 (No. 23) 和三间房组 (No. 20) 油砂单烃碳同位素组成不同 (图 6), No. 20 和 No. 23 碳同位素组成接近, 但前者成熟度略低。由于成熟度对碳同位素组成的影响最大不超过 3.0‰^[12,3], 随埋深增加甾和萜烷异构化成熟度参数比值增加, OEP 值变小, 表明残余

油成熟度增加, 图 6 中 No. 23 较 NO. 20 碳同位素组成相应变重与成熟度的影响可能不无关系。但决定台参 2 井三个油砂碳同位素组成差别的主要因素是母质输入, 而不是成熟度。此外, 前述原油和烃源岩单烃碳同位素组成细微差异亦受到成熟度影响, 但碳同位素组成的不同类别是由母质输入决定的, 这一点是显而易见的。

2.5 油源对比

吐哈盆地煤成油 (以台参 1 井为例) 与中下侏罗统煤系地层有机质具有较好的相关性 (图 7), 图中所示原油与烃源岩的 $\delta^{13}C$ 值相差 0.5‰~2.5‰, 正如图 6 所示 No. 20 和 No. 23 的差别, 这可能与样品组成的细微不同有关, 亦与成熟度的影响有关。湖相原油 (以托参 1 井为例) 与葡北 1 井和塘参 3 井泥岩相关 (图 8)。该图还选用了巴黎盆地页岩和原油^[11] 单烃碳同位素组成数据作对比, 结果托参 1 井原油与它们相关, 说明即使采用不同的分析仪器和分析条件, 而它们仍具有相关性, 这反映了母质输入的相似性, 即它们均来源于湖相有机质。葡北 1 井原油和七克台组泥岩不具有相关性 (图 9), 泥岩除 nC_{29} ~ nC_{35} 之间的 $\delta^{13}C$ 值异常 (可能与异构烷烃分离不佳有关) 外, 原油和泥岩碳同位素组成相关性极差, 即使成熟度的差异亦不能导致 5‰~6‰ 的差值, 说明葡北 1 井原油和台参 1 井等煤成油一样主要与中下侏罗统煤系地层有机质有关。但吐哈盆地原油亦并不排除由七克台组泥岩生成的可能性, 如胜金口油田原油^[1]。

3 结 语

综上所述, 可将吐哈盆地原油划分三类: 一类是典型沼泽—湖沼相煤成油, 如台北凹陷各油田原油; 一类是湖相原油, 如托参 1 井原油; 一类是浅湖相原油, 如胜金口油田原油。油源对比认为目前吐哈盆地中侏罗统的原油系由中下罗统煤系地层有机质生成, 而托克逊凹陷原油系由上二叠统湖相泥岩生成。

单烃碳同位素组成特征和分布模式不仅可以作为原油和烃源岩类型划分的依据, 还可以反映样品的母质输入、沉积环境和含盐度特征, 它将成为有效的油—油源对比的新指标。

致谢 本文在修改过程中得到黄籍中高级工程师的帮助, 在此深表谢意。

参 考 文 献

[1] 程克明主编. 吐哈盆地油气生成. 北京: 石油工业出版社, 1994.

- 163.
- [2] 胡伯良,江德昕,杨惠秋等.新疆东部地区生油岩研究和油源对比.兰州:甘肃科学技术出版社,1991,82~89.
- [3] 黄第藩,李晋超,张大江等.吐鲁番盆地侏罗系地层中烃类的生成.第四届有机地球化学会议论文集.武汉:中国地质大学出版社,1990.
- [4] 张文正,裴戈,关德师.液态正构烷烃系列、姥鲛烷、植烷碳同位素初步研究.石油勘探开发,1992,19(5):32~41.
- [5] 张文正,裴戈,关德师等.中国几个盆地原油轻轻单体和正构烷烃系列分子碳同位素研究.地质论评,1993,39(1):79~85.
- [6] 赵孟军,黄第藩,张水昌.原油单体烃的碳同位素组成研究.石油勘探与开发,1994,17(2):171~179.
- [7] 赵孟军,黄第藩.不同沉积环境生成的原油单体烃碳同位素分布特征.石油实验地质,1995,21(3):52~59.
- [8] 邹才能,赵文智,龙道江.吐鲁番盆地侏罗系煤系原油的基本性质及油源对比.石油学报,1993,14(2):25~33.
- [9] Bjoroy M, Hall K and Jumeau J. Stable carbon ratio analysis on single components in crude oils by direct GC- isotope analysis, Trends Anal. Chem. 1990, 9(1): 331~ 337.
- [10] Bjoroy M, Hall K, Gillyon P et al. Carbon isotope variations in n- alkanes and isoprenoids of whole oils, Chemical Geology, 1991, 93 13~ 20.
- [11] Bjoroy M, Hall P B and Moe R P. Variation in stable carbon isotope ratios of individual hydrocarbons as a function of artificial, Org. Geochem. 1992, 19(1-3): 89~ 105.
- [12] Clayton C. J. Effect of maturity on carbon isotope ratios and condensates, Org. Geochem. 1991, 17 887~ 899.
- [13] Clayton C. J. Effect of maturity on $^{13}C/^{12}C$ Ratios of individual compounds in North Sea oils, Org. Geochem. 1994, 21(6/7): 737~ 750.
- [14] Craig H. Isotopic standards for carbon and oxygen correction factors for massspectrometric analysis of carbon dioxide, Geochim. et Cosmochim. Acta. 1957, 12 133~ 149.
- [15] Preeman K H, Hayes J M, Trendel J-M & Albrecht P. Evidence from carbon-isotopic measurements for diverse origins of sedimentary hydrocarbons, Nature, 1990, 343 254~ 256.
- [16] Hayes J M, Takigikr R AND Ocampo R. Isotopic Compositions and probable origins of organic molecules in the Eocene messel Shale. Nature, 1987, 329 48~ 51.
- [17] Kennicutt II M and Brooks J M. Unusual normal alkane distributions in off-shore New Zealand sediments, Org Geochem. 1990, 15(2): 193~ 197.

Preliminary Study on Stable Carbon Isotope Compositions of Individual Hydrocarbons of Crude Oils and Source Rocks and Oil /Source Corelation in the Turpan-Hami Basin

Yang Jiajing and Hu Boliang

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Chengdu 610051)

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

The genetic classification of crude oils and oil/source correlation were studied based on the depositional environment and the input of parent materials of crude oils and source rocks from the Turpan-Hami Basin by the research of the distribution and assemblage characteristics of biomarkers and stable carbon isotope compositions and distribution model of individual hydrocarbons, which were detected through the gas chromatograph-isotope ratio in mass spectrometer the following three aspects: 1) the typical lacustrine-swamp or swamp facies coal-derived oil, such as crude oils generated from the Jurassic of Taibei Depression; 2) the lacustrine oils, like the Triassic oil from the Tuocan 1 well; 3) the shallowly lacustrine oil, such as the Middle Jurassic oil in the Shengjinkou oilfield. The results of oil /source correlation showed that the Jurassic oils in Taibei Depression is originated from the Middle-Lower Jurassic coal measure organic matter, and the Triassic oil in the Tuokexun Depression is from Upper Permian lacustrine facies mudstones in the Turpan-Hami Basin.

Key Words Turpan-Hami Basin oil from coal gas chromatograph-isotopic ratio mass spectrometer stable carbon isotope composition of individual hydrocarbons biomarkers