

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.027



# 辽河盆地西部凹陷原油的生物标志物类型及其地球化学意义

朱芳冰<sup>1,2</sup>, 周红<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

**摘要:**原油的生物标志物组合特征可提供油气来源、成熟度、次生改造程度等多方面的信息,是油气成因分析和油源对比的有效工具.利用原油的生物标志物类型及其组合特征分析地球化学意义,通过生物降解作用的研究和原油生物标志物组合的判断,对稠油的来源进行成因分析,研究认为:辽河盆地不同地区各类生物标志物的组合及正构烷烃和异戊间二烯的分布特征,反映研究区发育母质输入、成熟度和生物降解程度明显不同的两种类型的原油,即富4-甲基甾烷型和富伽马蜡烷型原油,分别来源于沙三段和沙四段源岩.

**关键词:**辽河盆地;生物标志物;生物降解作用;油源对比;地球化学;石油地质.

**中图分类号:** P618.13

**文章编号:** 1000-2383(2018)02-0594-05

**收稿日期:** 2017-07-23

## Boimarker Types and Geochemical Significance of Crude Oils in Western Depression, Liaohe Basin

Zhu Fangbing<sup>1,2</sup>, Zhou Hong<sup>1,2</sup>

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Based on the research of biomarker combined characteristics, oil and gas source, maturity and degree of secondary reconstruction could be discussed which is the effective method to analyses hydrocarbon origin, genesis of petroleum and oil-source correlation. By making the most of biomarker types and combined characteristics, the geochemical significance will be researched. Oil-source correlation had been studied by bacteria degradation and biomarker combined characteristics. The distribution of *n*-alkanes and isoprene shows that various types of crude oil are developed. That is, two main quite different crude oils are developed which are rich in 4-methylstane and rich in gamma-waxy in the study area. The two different crude oils come from Sha 3 and Sha 4 respectively.

**Key words:** Liaohe basin; biomarker; oil-source correlation; bacteria degradation; geochemistry; petroleum geology.

### 1 地质背景

辽河盆地位于辽宁省中南部,是渤海湾裂谷盆地中的一个多旋回箕状断陷,其前第三纪基底结构

较为复杂,主要控制性断裂呈北东向展布,形成隆凹相间的构造格局.研究区主要发育7个次级构造单元,即沈北凹陷、大明屯凹陷、西部凸起、西部凹陷、中央凸起、东部凹陷和东部凸起,新生代沉积的地层为房身泡组、沙河街组、东营组和上第三系的馆陶组

**基金项目:**国家自然科学基金重大项目(No.41690130).

**作者简介:**朱芳冰(1966-),女,副教授,主要从事石油地质与油藏工程的教学与科研工作. ORCID:0000-0002-7707-7159. E-mail:zhufb66@163.com

**引用格式:**朱芳冰,周红,2018.辽河盆地西部凹陷原油的生物标志物类型及其地球化学意义.地球科学,43(2):594-598.

及明化镇组。

稠油在辽河盆地已探明的石油储量中占有重要的比例,发育在构造斜坡带上的高升油田是我国著名的厚层块状稠油油藏.稠油油藏的形成和演化经历了漫长的地质过程(朱芳冰等,2015).辽河盆地的持续沉降,导致同一源岩不同成熟阶段生成的油气及不同源岩生成的油气可能发生混合,进而影响原油的组成和性质,笔者通过生物标志物组合特征的研究,对稠油的来源进行成因分析和油源研究。

## 2 原油生物标志物组合特征

原油的生物标志物组合特征可提供油气来源、成熟度、次生改造程度等多方面的信息,不同类型的有机质和不同沉积环境具有不同的生物标志物组合,因而生物标志物及其组合特征是油气成因分析和油源对比的有效工具(董春梅,1995;Justwan *et al.*,2006;杨子成和张金亮,2008).笔者选择西部凹陷不同油区的 16 个样品进行饱和烃气相色谱和色谱-质谱分析。

甾烷和萜烷是应用最广的生物标志物,利用甾烷分布特征可以追溯油源岩和油气聚集的亲缘关系(杨子成和张金亮,2008).除一些遭受较强生物降解的原油外,研究区样品孕甾烷的相对丰度通常较低.大部分样品均发育有较丰富的  $C_{27}$ - $C_{29}$  正常甾烷和重排甾烷,部分样品还发育有较丰富的  $C_{28}$ - $C_{30}$  4-甲基甾烷. $C_{27}$ - $C_{29}$  正常甾烷的主要前身为广泛存在于植物和浮游生物细胞壁中的甾醇.由于浮游生物以  $C_{27}$ 、 $C_{28}$  甾醇为主,而高等植物以  $C_{29}$  甾醇占优势,因此可用  $C_{27}$ 、 $C_{28}$  和  $C_{29}$  甾烷的相对丰度反映有机质的生物来源.辽河油田西部凹陷正常原油多以  $C_{29}$  甾烷占优势,且大多具有  $C_{29} > C_{27} > C_{28}$  的甾烷分布形式.而未成熟油和遭受较强生物降解的原油的  $C_{28}$  甾烷的相对丰度明显增大,且大多表现出  $C_{29} > C_{28} > C_{27}$  的甾烷分布型式(图 1)。

生物标志物亦是反映有机质成熟度的重要参数.随着有机质热演化程度的增高,甾烷的立体构型发生变化,其中  $C_{29}$  甾烷  $20S/(S+R)$  和  $\beta/(\beta+\alpha\alpha)$  是最常用的成熟度指标.图 2 显示了研究区原油和生油岩  $C_{29}$  甾烷  $20S/(S+R)$  与  $C_{29}$  甾烷  $\beta/(\beta+\alpha\alpha)$  及  $Ts/Tm$  的关系,可以看出, $C_{29}$  甾烷  $20S/(S+R)$  和  $\beta/(\beta+\alpha\alpha)$  具有良好的相关性.各油区正常原油均存在成熟度不同的系列.由于生物降解对甾烷的影响,难以根据  $C_{29}$  甾烷  $20S/(S+R)$  和  $\beta/(\beta+\alpha\alpha)$

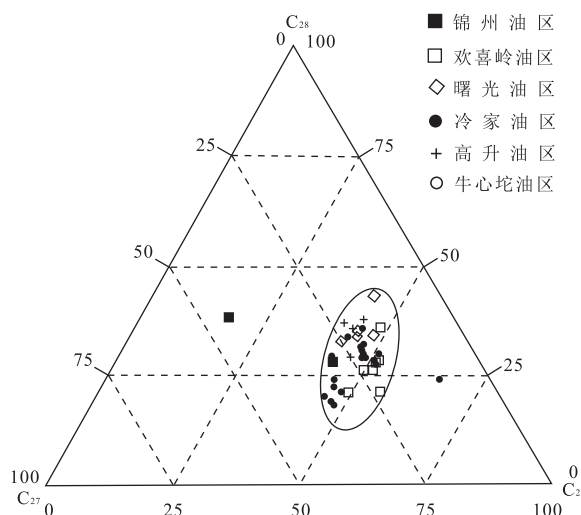


图 1 辽河盆地原油甾烷构成三角图

Fig.1 Crude oil sterane constitution triangular figure in the Western depression, Liaohe basin

$\alpha\alpha$ ) 有效地划分遭受较强生物降解的原油的成熟度。

三降藿烷可以反映成熟度的变化,其中  $Ts/Tm$  是反映有机质成熟度的较好指标,图 2b 给出了  $Ts/Tm$  与甾烷的常用成熟度指标  $C_{29}$  甾烷  $20S/(S+R)$  的关系.由于甾烷成熟度指标  $C_{29}$  甾烷  $20S/(S+R)$  和  $\beta/(\beta+\alpha\alpha)$  更易受到生物降解的影响, $Ts/Tm$  成为确定稠油成熟度的重要指标。

研究表明,4-甲基甾烷的生物先质主要来源于甲藻,与原始沉积母质中沟边藻类的贡献有关(Chen *et al.*,1996;张林晔等,2005).因此丰富的 4-甲基甾烷是低等水生浮游植物特别是甲藻大量输入的标志.本区岩样和油样 4-甲基甾烷的丰度变化较大(图 3),反映了母质输入的时空变化。

伽马蜡烷和全氢化  $\beta$  胡萝卜烷均是反映沉积介质条件的良好标志,伽马蜡烷与有机质沉积时水介质的盐度相关(Peters *et al.*,2005;Zhu *et al.*,2005),是高盐度沉积环境的重要标志物,其前身为原生动物的四膜虫醇,全氢化  $\beta$  胡萝卜烷主要来源于藻类中的胡萝卜素,其在生油岩和原油中的富集对应相对较强的还原环境。

25-降藿烷是生物降解的产物,随着原油生物降解程度的增强,正常藿烷的相对丰度降低甚至消失,25-降藿烷的相对丰度明显增高,因此 25-降藿烷的发育程度是反映原油降解程度的有效参数。

不同地区上述各类生物标志物的组合及正构烷烃和异戊间二烯的分布表明,辽河油田西部凹陷发育母质输入、成熟度和生物降解程度明显不同的多种类型的原油。

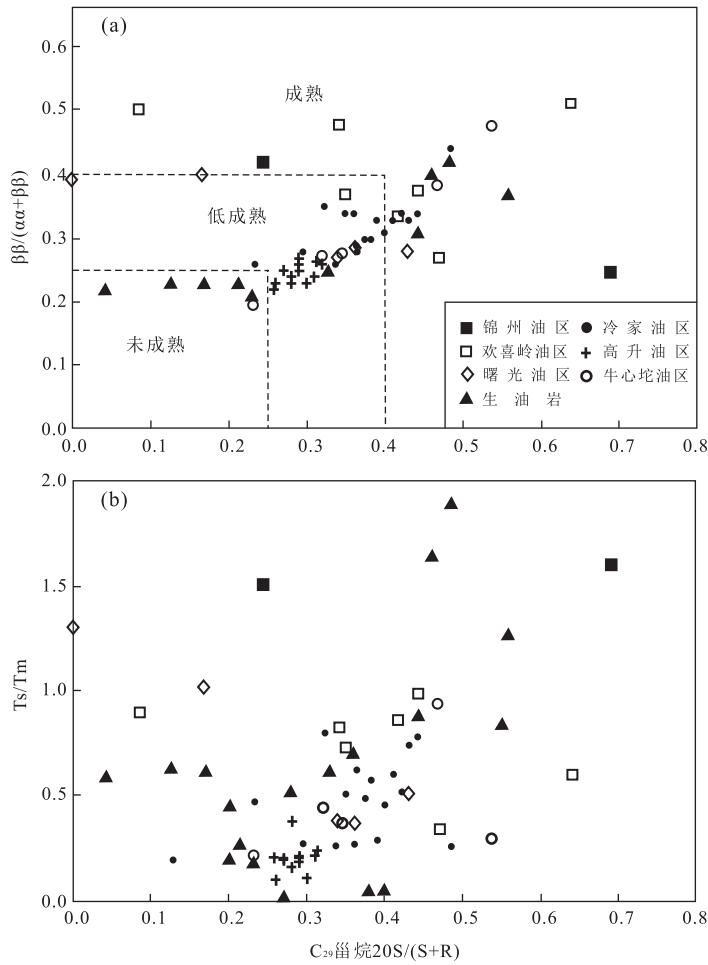


图 2 辽河盆地西部凹陷原油和生油岩 C<sub>29</sub> 甾烷 20S/(S+R) 与 C<sub>29</sub> 甾烷 ββ/(ββ+αα)(a) 及 Ts/Tm(b) 的关系

Fig.2 The relationship between C<sub>29</sub> sterane 20S/(S+R) and C<sub>29</sub> sterane ββ/(ββ+αα)(a) as well as Ts/Tm (b) in the Western depression, Liaohe basin

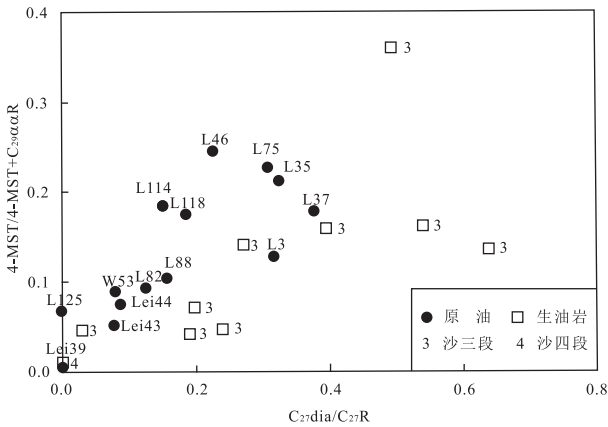


图 3 辽河盆地西部凹陷原油和生油岩 C<sub>27</sub> 重排甾烷与 4-甲基甾烷/(4-甲基甾烷+C<sub>29</sub> 甾烷 ααR) 的关系

Fig.3 The relationship between crude oil and source rock C<sub>27</sub> rearranged sterane and 4-methylsterane/(4-methylsterane + C<sub>29</sub> sterane ααR) in the Western depression, Liaohe basin

### 3 生物标志物特征与油源分析

油源对比是指导油气勘探的关键技术(李水福等,2010),可提供油气成因方面的重要地质-地球化学信息,成因意义明确的参数可以作为油源对比的有效指标(Peters *et al.*,2005;Hao *et al.*,2009).

生物降解作用,亦称微生物降解作用、细菌降解作用,是由微生物新陈代谢作用导致的石油物理性质、烃类化学组成与原油质量的显著变化.生物降解作用强烈地改造了原油的组成和性质,遭受较强生物降解的稠油会因此失去重要的成因信息,导致稠油成因分析和油源对比更为困难.从正常原油的成因分析和油源对比入手,根据稠油的生物标志物组合判断稠油的来源是成因分析的有效途径(Peter and Moldowan,1993;邹才能等,2004).

4-甲基甾烷和伽马蜡烷是辽河盆地原油的有效

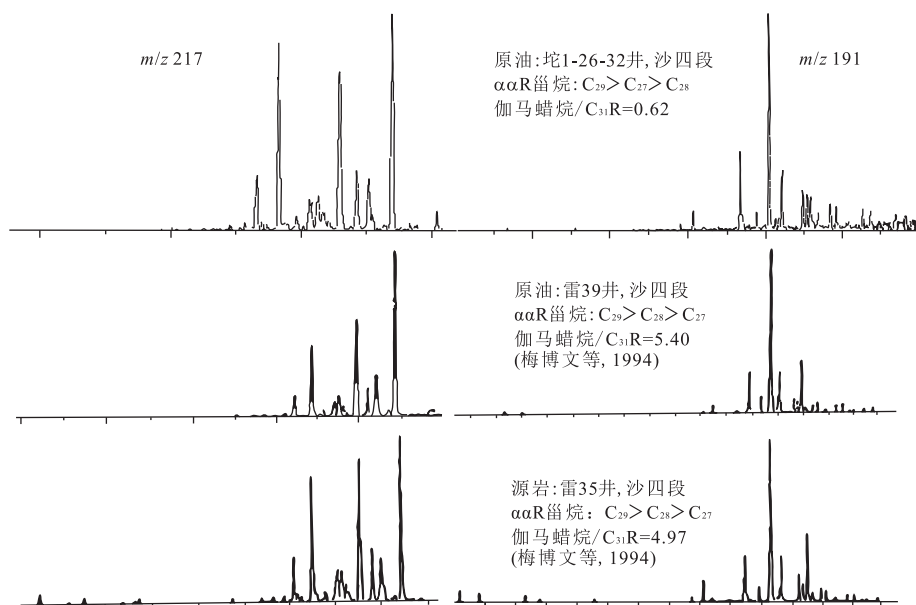


图 4 辽河盆地西部凹陷未成熟油甾萜生物标志物分布及其与沙四段源岩的对比

Fig.4 The distribution of immature crude steroid terpene biomarker and Sha 4 oil-source correlation in the Western Depression, Liaohe Basin

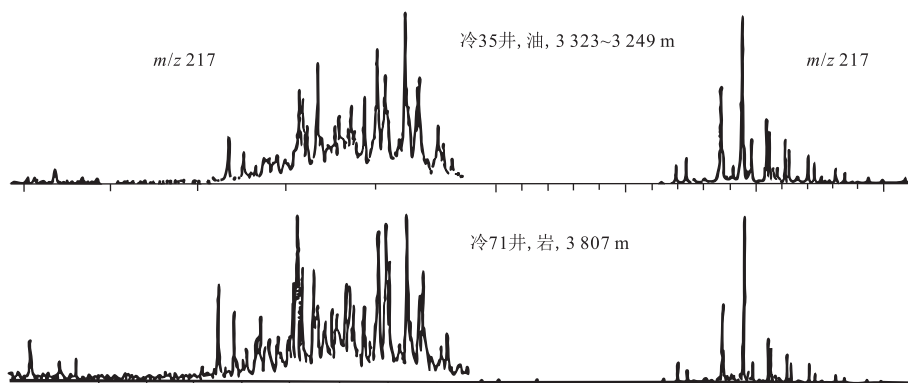


图 5 富 4-甲基型原油与沙三段源岩的甾萜类生物标志物分布

Fig.5 Rich 4-methyl crude oil and the distribution of Sha 3 source rock steroid terpene biomarker

示踪标志.4-甲基甾萜和伽马蜡烷的分布特征表明,研究区主要发育有富 4-甲基甾萜型和富伽马蜡烷型两类生物标志物组合明显不同的原油.

已发现的未熟原生稠油和低熟一降解稠油大多富伽马蜡烷而贫 4-甲基甾萜(图 4).这类原油的长链三环甾的丰度通常较低,具有较明显的  $nC_{17}$  优势,Pr/Ph 亦较低.富伽马蜡烷的未熟和低熟原油与沙四段源岩具有较好的对比关系(图 4),表明未熟原生稠油和低熟及低熟降解稠油可能主要来源于沙四段源岩.

尽管坨 1-26-32 井原油不发育 4-甲基甾萜,但其  $\alpha\alpha R$  甾萜分布型式表现为  $C_{29} > C_{27} > C_{28}$ (图 4),雷 39 井伽马蜡烷/ $C_{31}R$  达 5.4,高升地区未熟和低熟原油的伽马蜡烷/ $C_{31}R$  总体接近甚至大于 5,坨 1-26-32 井

伽马蜡烷/ $C_{31}R$  为 0.62,相对丰度变低.生物标志物组合的这种差异反映了沙四段源岩沉积一成岩条件的时空变化,可能与不同来源的油气的混合有关.

冷东地区深度超过 2 300 m 的未降解原油大多具有较为丰富的 4-甲基甾萜,但伽马蜡烷的丰度很低甚至不含伽马蜡烷.这类富含 4-甲基甾萜、贫伽马蜡烷的原油与沙三段源岩具有较好的对比关系(图 5),表明富含 4-甲基甾萜的原油可能与沙三段具有亲缘关系.

辽河盆地大部分成熟一降解型稠油的 4-甲基甾萜的丰度较低.然而,大部分成熟一降解型稠油的伽马蜡烷的丰度低于未熟原生稠油和低熟一降解稠油.笔者分析认为主要是两种原因造成:一是生物降解可能改变原油的原始生物标志物组合面貌,二是

降解前不同来源(不同源岩或同一源岩不同成熟度)原油的混合造成,这可能是主要原因。辽河盆地西部凹陷的成熟-降解型稠油可能分别来源于沙四段和沙三段不同源岩,在不同成熟度条件生成油气的混合。然而,辽河盆地西部凹陷沙四段和沙三段发育藻质 I 型、藻质 II 型、混合 II 型、木质 II 型、藻质 III 型及木质 III 型等多种干酪根成因类型,从而不同成因类型干酪根的源岩具有不同的生物标志物组合,导致不同地区同一层位源岩生成的油气可能具有不同的生物标志物组合,而强烈的生物降解改变了原油生物标志物组合的原有面貌,要准确地确定成熟-降解型稠油的“源油”及其来源是困难的。

## 4 结论

原油的生物标志物组合特征是油气来源、成熟度、次生改造程度等研究的重要依据,是油气成因分析和油源对比的有效工具,研究认为:

(1) 辽河盆地不同地区各类生物标志物的组合及正构烷烃和异戊间二烯的分布表明,辽河油田西部凹陷发育母质输入、成熟度和生物降解程度明显不同的多种类型的原油。

(2) 研究区主要发育的生物标志物组合明显不同的原油,富 4-甲基萘烷型和富伽马蜡烷型原油,分别来源于沙三段和沙四段源岩。

(3) 强烈的生物降解会改变原油生物标志物组合的面貌,为确定成熟-降解型稠油的“源油”造成困扰。

## References

Chen, J. Y., Bi, Y., Zhang, J. G., et al., 1996. Oil-Source Correlation in the Fulin Basin, Shengli Petroleum Province, East China. *Organic Geochemistry*, 24 (8-9): 931-940. [https://doi.org/10.1016/s0146-6380\(96\)00049-6](https://doi.org/10.1016/s0146-6380(96)00049-6)

Dong, C. M., 1995. Biological Marker of Crude Oil and Source Rock in Liaodong Gulf. *Journal of the University of Petroleum, China*, 19(2): 12-18 (in Chinese with English abstract).

Hao, F., Zhou, X. H., Zhu, Y. M., et al., 2009. Mechanisms for Petroleum Accumulation in the Bozhong Sub-Basin, Bohai Bay Basin, China (Part 1): Origin and Occurrence of Crude Oils. *Marine and Petroleum Geology*, 26 (8): 1528-1542. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.09.005>

Justwan, H., Dahl, B., Isaksen, G., H., 2006. Geochemical Characterization and Genetic Origin of Oils and Condensates in the South Viking Graben, Norway. *Marine*

*and Petroleum Geology*, 23 (2): 213-239. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2005.07.003>

Li, S. F., Hu, S. Z., He, S., et al., 2010. Oil-Source Correlation for Biodegraded Oils in the North Slope of the Biyang Depression. *Acta Petrolei Sinica*, 31 (6): 946-951 (in Chinese with English abstract).

Peter, K. E., Moldowan, J. M., 1993. *The Biomarker Guide: Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey*, 363.

Peters, K. E., Walters, C. C., Moldowan, J. M., 2005. *The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History*. Cambridge University Press, Cambridge, 475-477, 645-653.

Yang, Z. C., Zhang, J. L., 2008. Biomarkers of Crude Oils and Oil-Source Correlation in the South Slope of the Dongying Depression. *Periodical of Ocean University of China*, 38(3): 453-460 (in Chinese with English abstract).

Zhang, L. Y., Liu, Q., Zhang, C. R., 2005. The Relationship Research between Hydrocarbon Generation and Accumulation in Dongying Depression. Geological Publishing House, Beijing, 202 (in Chinese).

Zhu, F. B., Zhou, H., Liu, R., 2015. Geochemical Characteristics and Origin of Formation Water in Western Depression, Liaohe Basin. *Earth Science*, 40 (11): 1870-1875 (in Chinese with English abstract).

Zhu, Y. M., Weng, H. X., Su, A. G., et al., 2005. Geochemical Characteristics of Tertiary Saline Lacustrine Oils in the Western Qaidam Basin, Northwest China. *Applied Geochemistry*, 20 (10): 1875-1889. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.06.003>

Zou, C. N., Wang, Z. Y., Xu, G. J., et al., 2004. Characteristics and Genesis of the Western Slope Thick Oils in Songliao Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22 (4): 700-706 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

董春梅, 1995. 辽东湾海域原油及生油岩的生物标志化合物特征. 石油大学学报(自然科学版), 19(2): 12-18.

李水福, 胡守志, 何生, 等, 2010. 泌阳凹陷北部斜坡带生物降解油的油源对比. 石油学报, 31(6): 946-951.

杨子成, 张金亮, 2008. 东营凹陷南斜坡原油生物标志物特征和油源对比. 中国海洋大学学报(自然科学版), 38(3): 453-460.

张林晔, 刘庆, 张春荣, 2005. 东营凹陷成烃与成藏关系研究. 北京: 地质出版社, 202.

朱芳冰, 周红, 刘睿, 2015. 辽河盆地西部凹陷稠油分布区地层水化学特征. 地球科学, 40(11): 1870-1875.

邹才能, 王兆云, 徐冠军, 等, 2004. 松辽盆地西斜坡稠油特征及成因. 沉积学报, 22(4): 700-706.