

## 塔河油田塔深 3 井区

# 奥陶系深层油气成藏的地球化学证据

刘永立, 罗明霞, 夏永涛, 邵小明

(中国石化西北油田分公司勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**塔深 3 井是塔河油田首次在奥陶系深层获得油气突破的探井, 在奥陶系中—下统鹰山组上段获得高产油流。塔深 3 井区奥陶系深层的原油物性和该区顶部风化壳型油藏一致, 均为高凝固点、高硫、高蜡、高黏度的超重质原油。原油中正构烷烃系列分布完整, 但色谱基线出现不同程度的抬升; 原油中普遍含有 25-降萘烷系列; 饱和烃和沥青质的碳同位素出现明显的“倒转”现象, 这些特征均表明该区至少经历了 2 期油气充注成藏作用。同时, 在塔深 3 井鹰山组的储层方解石中检测到发黄色、黄绿色、蓝色荧光的油包裹体和气包裹体, 根据包裹体的均一温度判断存在 3 期油气充注, 分别为: 加里东晚期—海西早期、海西晚期及喜马拉雅晚期。结合井区原油现今的物性(超重质油)及成熟度(成熟油)分析, 应以第一期原油充注为主。

**关键词:**包裹体; 成藏期次; 地球化学; 奥陶系深层; 塔河油田

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

## Geochemical evidence for hydrocarbon accumulation in deep Ordovician in TS3 well block, Tahe oil field

Liu Yongli, Luo Mingxia, Xia Yongtao, Shao Xiaoming

(Exploration and Production Research Institute of SINOPEC Northwest Oilfield Branch Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Well TS3 is the first discovery well in the deep Ordovician of Tahe oil field. Commercial oils were tested in the Yingshan Formation of the Middle–Lower Ordovician. The physical characteristics of oils from TS3 well block are similar to those from nearby near-surface reservoirs, which both are super heavy oils with high freezing point, high sulfur content, high wax content and high viscosity. The n-alkane series are complete with a variable hump in the chromatographic baselines and widespread 25-norhopane series. The carbon isotopes of saturate hydrocarbons and asphaltene are partly reversed. These features indicate that the reservoirs in TS3 well block underwent at least 2 periods of hydrocarbon filling and forming. In addition, oil inclusions with yellow, yellow-green and blue fluorescence and gas inclusions were tested in calcites of the Yingshan Formation reservoir. The homogenization temperature of inclusions suggests three periods of hydrocarbon filling: Late Caledonian–Early Hercynian, Late Hercynian and Late Himalayan. Combined with physical properties (super heavy oils) and maturity (mature oils) of the present oils, the first period of oil and gas filling was dominant in the TS3 well block.

**Key words:** inclusion; accumulation period; geochemistry; deep Ordovician; Tahe oil field

中国石化西北油田分公司自 2001 年开始探索塔河深层领域, 至 2012 年十二年间相继部署的沙 88、塔深 1、于奇 6、艾丁 11 及塔深 2 井在寒武系上统、奥陶系下统蓬莱坝组及中—下统鹰山组下段均见到了不同程度的油气显示, 但均未获得油气突破。

2014 年, 针对奥陶系深层部署的塔深 3 井在揭开奥陶系中—下统 277 m 时直接钻遇大型缝洞体, 发生剧烈泥浆漏失, 常规测试获高产油气流, 日产油 55.6 t, 实现了塔河油田下古生界碳酸盐岩深层领域的首次突破, 证实了深层领域具有巨大的油

气勘探潜力, 向下拓展了新的含油气层系。本文旨在通过塔深 3 井区奥陶系深层原油的地球化学特征、流体包裹体分析与埋藏史相结合, 确定塔深 3 井区奥陶系深层的成藏期次, 为塔河油田奥陶系深层领域的油气勘探提供依据。

### 1 原油充注期次的地球化学证据

#### 1.1 原油物性及族组成

塔深 3 井区奥陶系深层的油质较差, 原油密度分布在  $1.011\ 1\sim 1.027\ 2\ \text{g/cm}^3$ , 均在  $1.0\ \text{g/cm}^3$  以上,

收稿日期: 2016-08-21; 修订日期: 2017-03-14。

作者简介: 刘永立(1982—), 男, 工程师, 从事碳酸盐岩沉积、储层及成藏研究。E-mail: liuyongli526@126.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“中国下古生界大型油气田保存条件与分布预测”(2012CB214806)和中国石化科技部科技攻关项目“塔河油田深层储层成因、成藏规律与目标优选”(P15030)联合资助。

属中等—高凝固点、高黏度、高硫、高蜡的超重质原油,原油物性和该区及西北部艾丁—于奇西奥陶系顶部风化壳型油藏的原油相似(表 1)。

同时,原油族组成分析(表 2)表明,塔深 3 井区奥陶系深层的原油均具有低饱和烃、高芳烃、高非烃和沥青质的特征,亦和奥陶系中—下统顶部风化壳型油藏的原油相似。饱芳比除 AD4 井外,均小于 1,表明塔深 3 井区深层原油和艾丁—于奇西奥陶系顶部原油均遭受了较强的后生改造,保存条件较差。

### 1.2 饱和烃色谱特征

塔深 3 井区奥陶系深层稠油的正构烷烃系列分布完整,碳数分布在  $nC_{11} \sim nC_{31}$ ,均呈单峰前峰型分布(图 1)。主峰碳在  $nC_{15}$  和  $nC_{16}$ ,显示低碳数的正构烷烃含量较高,有机质类型以偏腐泥型为主。原油的植烷优势明显,Pr/Ph 分布在 0.65 ~ 0.66,反映其母质的沉积环境具有较强的还原性,总体特征和该区及西北部艾丁—于奇西奥陶系原油类似(图 1)。

研究区超重质油的饱和烃色谱基线均呈现不

同程度的“UCM”鼓包(图 1),且本次选取的 8 口井原油样品中全部检测到  $C_{28}$  及  $C_{29}$  25-降藿烷系列,表明原油曾遭受过强烈的生物降解作用<sup>[1-5]</sup>。利用  $C_{28}$  25-降藿烷/ $C_{29}$  藿烷的比值来评价研究区原油的降解程度,其中,西北部艾丁—于奇西地区的降解程度最高,该值平均为 2.26,塔深 3 井区奥陶系深层及顶部原油降解程度次之,该值平均为 0.54,这与饱和烃色谱图上基线鼓包的幅度基本相符。

由于生物降解作用首先消耗正构烷烃系列,而塔深 3 井区稠油的饱和烃色谱图中正构烷烃分布完整,且轻烃组分丰度大于重组分,原油轻重比  $\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$  分布在 3.29 ~ 4.39,表明早期充注的原油在遭受生物降解作用后,后期受到正常原油的混合改造。

### 1.3 原油及组分碳同位素

塔深 3 井区深层原油的全油碳同位素值分布于  $-33.0\text{‰} \sim -33.3\text{‰}$ ,和塔河油田奥陶系油藏相近,表现出海相原油特征。与艾丁—于奇西奥陶系顶部稠油相比,其原油碳同位素值变化幅度不大,绝对差值小于  $2.0\text{‰}$ ,反映原油成熟度相近,且来自同

表 1 塔河油田塔深 3 井区奥陶系深层和艾丁—于奇西奥陶系顶部风化壳原油物性对比

Table 1 Physical properties of oils from deep Ordovician in TS3 well block and near-surface reservoirs in Aiding-Yuqixi area, Tahe oil field

区块	井号	层位	产液段距 $T_7^4$ 距离/m	密度(20 °C)/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	运动黏度(90 °C)/ ( $mm^2 \cdot s^{-1}$ )	含硫量/ %	含蜡量/ %	凝固点/ °C	原油类型
塔深 3 井区	TS3	$O_{1-2}y$	277.13~330.24	1.022 9	16 502.83	3.14	3.12	18	黑色超重油
	TS301	$O_{1-2}y$	391.5~595.5	1.027 2	11 792.98	2.76	1.71	>50	黑色超重油
	TS3-2X	$O_{1-2}y$	312.68~347.92	1.011 1	-	2.16	4.18	38	黑色超重油
	TS3-3	$O_{1-2}y$	182~260	1.016 9	-	2.44	4.74	18	黑色超重油
	S92	$O_{2}yj$	5.5~8.5	1.008 4	-	2.76	1.73	17	黑色超重油
	T753	$O_{2}yj$	0~74	1.031 5	28 126.43	3.39	3.16	36	黑色超重油
艾丁— 于奇西	AD4	$O_{2}yj$	0~62	1.016 4	11 990.24	2.26	8.72	60	黑色超重油
	AD17	$O_{1-2}y$	0~59	1.029 3	92 579.93	2.26	4.31	>50	黑色超重油
	YQ5	$O_{1-2}y$	8.5~94	1.034 7	-	2.11	3.62	>50	黑色超重油

注:表中“-”代表由于样品原因(加热后泡沫大或油样太稠),运动黏度无法检测。

表 2 塔河油田塔深 3 井区和艾丁—于奇西奥陶系原油族组成

Table 2 Group composition of oils from TS3 well block and Aiding-Yuqixi area, Tahe oil field

区块	井号	层位	族组成/%					饱芳比
			饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	非+沥	
塔深 3 井区	TS3	$O_{1-2}y$	18.89	39.55	21.16	20.40	41.56	0.48
	TS3-2X	$O_{1-2}y$	15.88	38.35	18.65	27.12	45.77	0.41
	TS301	$O_{1-2}y$	19.40	34.10	11.60	34.90	46.50	0.57
	S92	$O_{2}yj$	25.53	35.96	15.26	23.25	38.51	0.71
	T753	$O_{2}yj$	28.68	35.72	15.87	19.73	35.60	0.80
艾丁—于奇西	AD4	$O_{2}yj$	33.28	28.28	8.30	30.14	38.44	1.18
	AD17	$O_{1-2}y$	21.12	32.21	13.78	32.90	46.67	0.66
	YQ5	$O_{1-2}y$	23.50	29.17	5.66	41.67	47.33	0.81

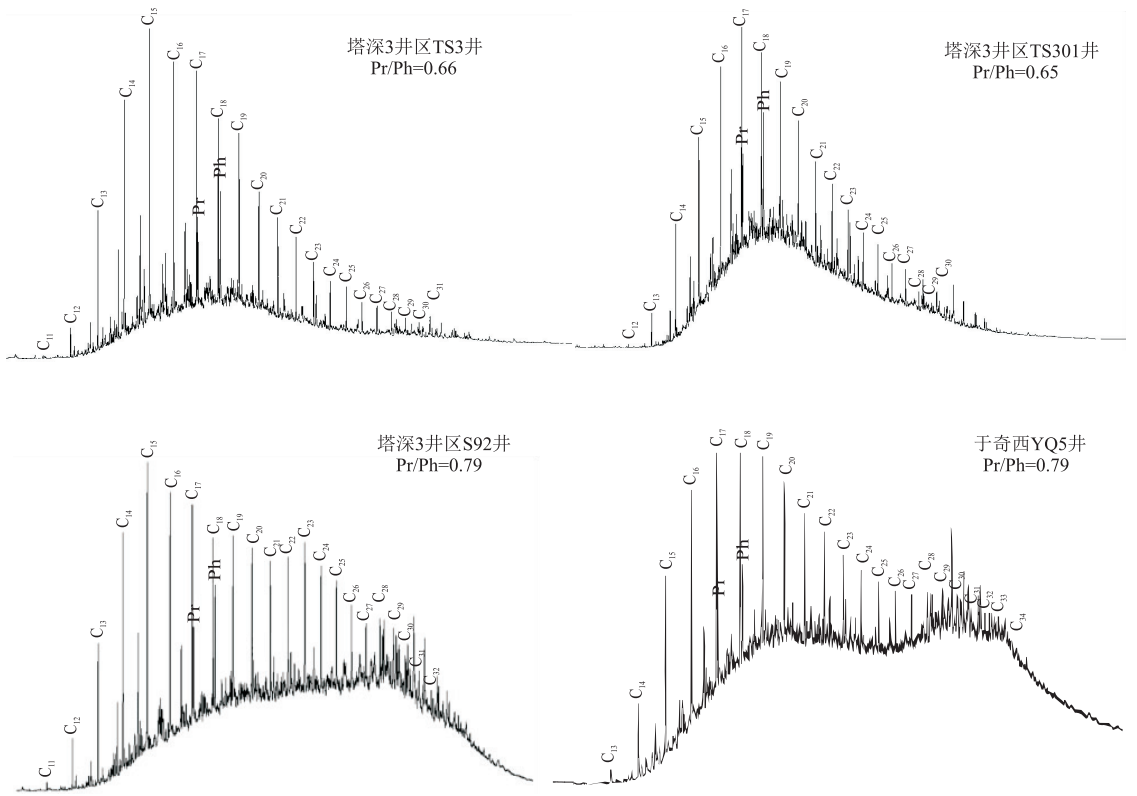


图1 塔河油田塔深3井区奥陶系深层原油及于奇西奥陶系顶部原油饱和和烃色谱  
 Fig.1 Chromatograms of saturated hydrocarbon of deep Ordovician in TS3 well block and near-surface reservoirs in Yuqixi area, Tahe oil field

一油源<sup>[6]</sup>。正常情况下,原油馏分的碳同位素组成具有  $\delta^{13}C_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}C_{\text{原油}} < \delta^{13}C_{\text{芳烃}} < \delta^{13}C_{\text{非烃}} < \delta^{13}C_{\text{沥青质}}$  的正序列特征<sup>[7-10]</sup>,但塔深3井区及艾丁—于奇西稠油都呈现出饱和烃和沥青质系列的倒转现象(图2),分析是生物降解及多期原油混合所致。早期正常原油在经历了强烈的生物降解后,残余的重组分(沥青质)碳同位素相对较轻,和后期较高成熟度的正常油混合后,使得原油的饱和和烃

和沥青质碳同位素值产生倒转<sup>[10-14]</sup>。

1.4 生物标志物成熟度特征

本次主要选取原油饱和烃馏分中的  $Ts/(Ts+Tm)$ 、 $C_{29}Ts/(C_{29}Ts+C_{29}H)$  以及芳烃硫芴系列中4-甲基二苯并噻吩/1-甲基二苯并噻吩(4-/1-MDBT),来分析塔深3井区奥陶系深层的原油成熟度。上述3个参数均是随着原油演化程度的增加而增大<sup>[15-19]</sup>。塔深3井区奥陶系深层稠油的  $Ts/(Ts+Tm)$ 、 $C_{29}Ts/(C_{29}Ts+C_{29}H)$  及4-/1-MDBT的比值分别为0.21~0.26,0.09~0.13,2.12~2.86,落在了成熟油的范畴(图3),和艾丁—于奇西奥陶系稠油的成熟度一致。由于塔深3井区和艾丁—于奇西均位于阿克库勒凸起的西北部,两者具有相同的区域地质背景,因此预测塔深3井区深层原油和艾丁—于奇西超重质油成藏期一致,以早期成藏为主,后期油气充注较弱<sup>[20-22]</sup>。

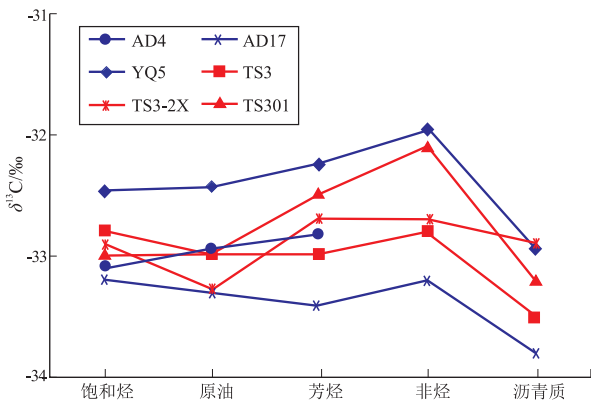


图2 塔河油田塔深3井区奥陶系深层与艾丁—于奇西顶部原油族组分碳同位素分布

Fig.2 Carbon isotope distribution of oils from TS3 well block and Aiding-Yuqixi area, Tahe oil field

2 包裹体证据

2.1 油包裹体荧光光谱

成岩矿物中的油包裹体荧光特征观察是获得油气生成、运移信息、确定油气藏充注幕次最为直接和快速的方法<sup>[23-25]</sup>。对塔深3井区奥陶系深层鹰

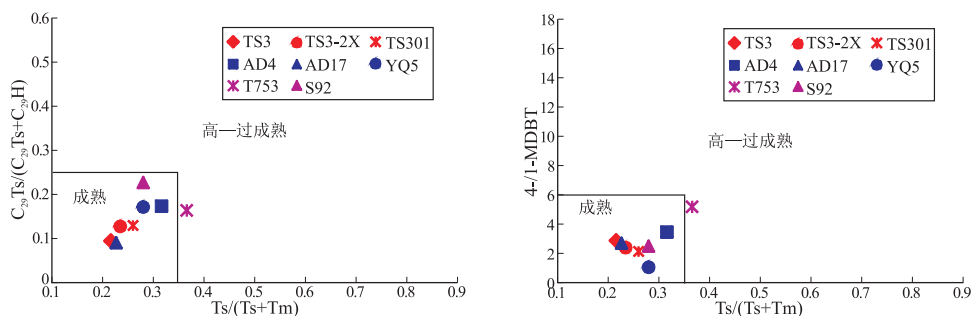


图 3 塔河油田塔深 3 井区与艾丁—于奇西原油成熟度参数关系

Fig.3 Maturity chart of oils from TS3 well block and Aiding-Yuqixi area, Tahe oil field

山组样品进行荧光观察,明显可见到 3 期油充注和 1 期天然气充注。纯气相包裹体在荧光下不发光, 3 期油包裹体在荧光激发下呈现不同的特征。根据油包裹体荧光光谱主峰波长  $\lambda_{max}$  与 QF-535 的关系(图 4),可以将塔深 3 井区深层油包裹体分为 3 类:(1)发(橙)黄色荧光的油包裹体  $\lambda_{max}$  较大,在 556~588 nm, QF-535 分布范围为 1.86~3.0;(2)发黄绿色荧光的油包裹体  $\lambda_{max}$  分布范围为 527~542 nm, QF-535 分布范围为 1.03~1.93;(3)发蓝色荧光的油包裹体  $\lambda_{max}$  在 439~497 nm, QF-535 分布范围为 0.38~1.18。油包裹体的这种荧光特征反映出塔深 3 井奥陶系深层经历了 3 期不同成熟度的原油充注及 1 期天然气充注过程。

### 2.2 包裹体均一温度

对塔深 3 井鹰山组包裹体中与油气包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度测定,其均一温度范围较大,分布在 69.3~140.3 °C。直方图整体呈现三峰态的形式,温度主频分别在 70~80、90~100 及 125~130 °C (图 5),表明该井有多期的油气充注与调整<sup>[26-28]</sup>。结合埋藏史—热史模拟曲线,塔深 3 井奥陶系深层稠油存在 3 期油气充注:第一期充

注发生在 459~429 Ma,对应加里东晚期—海西早期;第二期充注时间为 304~269 Ma,对应海西晚期;第三期充注为 22~18 Ma,即喜马拉雅晚期(图 5),整体和塔河油田奥陶系顶部岩溶缝洞型油藏的成藏期次一致<sup>[20-22]</sup>。

### 3 结论

(1)塔深 3 井区奥陶系深层原油与邻区顶部风化壳型油藏一致,为黏度高的超重质油,具有低饱和烃、高芳烃、高非烃和沥青质的特征,表明原油经历了较强的次生改造,晚期充注较弱。

(2)塔深 3 井区奥陶系深层原油饱和烃系列分布完整且存在较强的基线鼓包,普遍检测出 25-降藿烷,原油馏分的碳同位素组成整体偏轻,且出现了饱和烃和沥青质倒转的现象,原油成熟度低,表明深层原油至少发生过 2 期油气充注。

(3)包裹体的均一温度表明塔深 3 井区存在 3 期油气充注,分别为:加里东晚期—海西早期、海西晚期及喜马拉雅期。结合井区原油现今的物性(超重质油)及成熟度(成熟油),应以第一期原油充注为主。

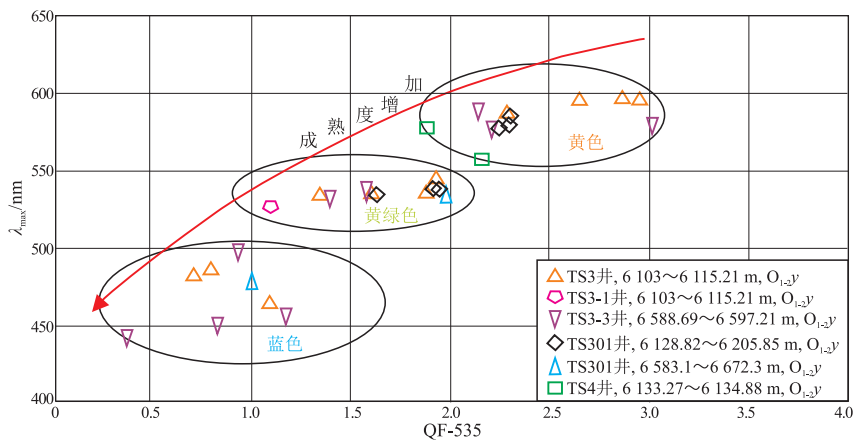


图 4 塔河油田塔深 3 井区奥陶系深层油包裹体  $\lambda_{max}$  与 QF-535 关系

Fig.4  $\lambda_{max}$  vs. QF-535 of oil inclusions from deep Ordovician reservoirs in TS3 well block, Tahe oil field

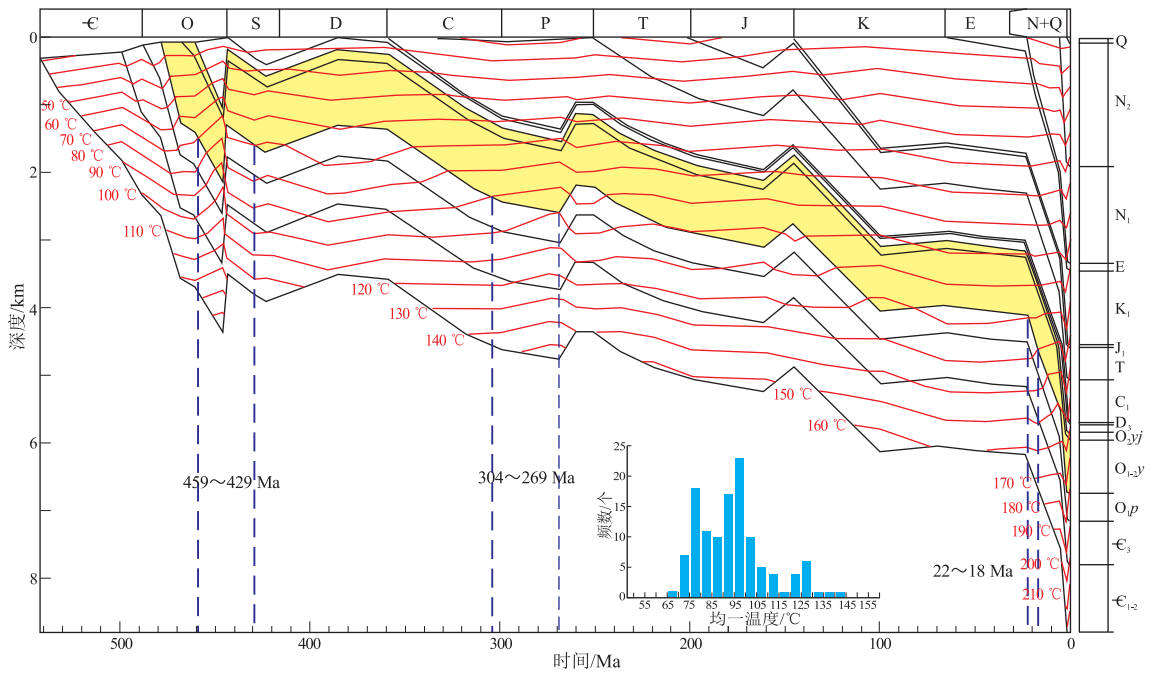


图5 塔河油田塔深3井奥陶系深层油藏热史—埋藏史与成藏时间

Fig.5 Thermal-burial histories and accumulation time of deep Ordovician reservoirs in well TS3, Tahe oil field

致谢: 本文包裹体分析得到了中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所赵永强、王斌高级工程师的帮助与支持, 在此表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 皮德斯 K E, 莫尔万多 J M. 生物标记化合物: 古代沉积物和石油中分子化石的解释[M]. 姜乃煌, 译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 178-187.  
Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. Jiang Naihuang, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 178-187.

[2] 倪春华. 25-降藜烷系列化合物及其在油藏地球化学研究中的应用[J]. 江苏地质, 2008, 32(1): 50-54.  
Ni Chunhua. 25-norhopanoids compounds and application in reservoir geochemistry study [J]. Jiangsu Geology, 2008, 32(1): 50-54.

[3] 罗明霞, 夏永涛, 邵小明, 等. 塔河油田西北部于奇西1井奥陶系中—轻质原油地化特征及成因探讨[J]. 石油实验地质, 2016, 38(2): 244-250.  
Luo Mingxia, Xia Yongtao, Shao Xiaoming, et al. Geochemical characteristics and genetic analysis of Ordovician medium-light oils from well YQX1 in the northwest of Tahe Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(2): 244-250.

[4] 李守军, 刘晓, 王延章, 等. 哈山地区稠油特征及成因分析[J]. 特种油气藏, 2016, 23(4): 29-32.  
Li Shoujun, Liu Xiao, Wang Yanzhang, et al. Heavy-oil properties and genesis in Hashan [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(4): 29-32.

[5] 张海全, 孟万斌, 王鹤. 黔南坳陷凯里油砂矿地质特征及成矿模式[J]. 断块油气田, 2016, 23(4): 419-422.  
Zhang Haiquan, Meng Wanbin, Wang He. Geological characteris-

tics and forming pattern of Kaili oil sand in southern Guizhou Depression [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2016, 23(4): 419-422.

[6] Peters K E, Moldowan J M. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993.

[7] Stahl W J. Source rock-crude oil correlation by isotopic type curves [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42(10): 1573-1577.

[8] 吕海涛, 顾忆, 丁勇, 等. 塔里木盆地西南部皮山北新1井白垩系油气成因[J]. 石油实验地质, 2016, 38(1): 84-90.  
Lv Haitao, Gu Yi, Ding Yong, et al. Cretaceous petroleum origin in well PSBX1 in the southwestern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 84-90.

[9] 刘虎, 廖译文, 戚明辉, 等. 受生烃母质控制的干酪根及其热解产物稳定碳同位素分布模式[J]. 石油实验地质, 2016, 38(5): 652-658.  
Liu Hu, Liao Zewen, Qi Minghui, et al. Stable carbon isotope distribution patterns of kerogen and its derived hydrocarbons constrained by primary biomass [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(5): 652-658.

[10] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 173-183.  
Wang Darui. Stable isotope geochemistry of oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 173-183.

[11] 王传刚, 王铁冠, 何发歧, 等. 塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(2): 155-157.  
Wang Chuangang, Wang Tieguan, He Faqi, et al. Stable carbon isotope and its significance in hydrocarbon accumulation in Tahe Oilfield, Tarim Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(2): 155-157.

- [12] 张中宁,刘文汇,郑建京,等.塔里木盆地塔北、塔中地区寒武—奥陶系碳酸盐岩中可溶有机组分的碳同位素逆转现象[J].矿物岩石,2006,26(4):69-74.  
Zhang Zhongning, Liu Wenhui, Zheng Jianjing, et al. Carbon isotopic reversed distribution of the soluble organic components for the Cambrian and Ordovician carbonate rocks in Tabei and Tazhong areas, Tarim Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2006, 26(4): 69-74.
- [13] 刘虎,廖泽文,张海祖,等.干酪根及其演化产物中稳定碳同位素的倒转分布:研究进展及对塔里木盆地海相油气藏研究的启发[J].矿物岩石地球化学通报,2013,32(4):497-502.  
Liu Hu, Liao Zewen, Zhang Haizu, et al. Review of the study on stable carbon isotope reversal between kerogen and its evolution products: Implication for the research of the marine oil reservoirs in the Tarim Basin, NW China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(4): 497-502.
- [14] 贺聪,吉利明,苏奥,等.天然气组分碳同位素倒转成因分析及地质应用[J].特种油气藏,2016,23(4):14-19.  
He Cong, Ji Liming, Su Ao, et al. Genesis analysis and geological application of gas component carbon isotope reversal [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(4): 14-19.
- [15] 王春江,傅家谟,盛国英,等. $18\alpha(H)$ -新藿烷及 $17\alpha(H)$ -重排藿烷类化合物的地球化学属性与应用[J].科学通报,2000,45(13):1366-1372.  
Wang Chunjiang, Fu Jiamou, Sheng Guoying, et al. Geochemical characteristics and applications of  $18\alpha(H)$ -neohopanes and  $17\alpha(H)$ -diahopanes [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(13): 1366-1372.
- [16] Kolaczowska E, Slougui N E, Watt D S, et al. Thermodynamic stability of various alkylated, dealkylated and rearranged  $17\alpha$ - and  $17\beta$ -hopane isomers using molecular mechanics calculations [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16(4/6): 1033-1038.
- [17] 王铁冠,何发歧,李美俊,等.烷基二苯并噻吩类:示踪油藏充注途径的分子标志物[J].科学通报,2005,50(2):176-182.  
Wang Tiegua, He Faqi, Li Meijun, et al. Alkyldibenzothiophenes: Molecular tracers for filling pathway in oil reservoirs [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(22): 2399-2404.
- [18] Radke M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils [J]. Marine and Petroleum Geology, 1988, 5(3): 224-236.
- [19] 季长军,伊海生,夏国清,等.羌塘盆地隆鄂尼地区油苗芳烃分布特征及意义[J].沉积学报,2014,32(2):391-398.  
Ji Changjun, Yi Haisheng, Xia Guoqing, et al. Geochemical characteristics and significance of aromatic hydrocarbon of Long'en area crude oil in Qiangtang Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(2): 391-398.
- [20] 饶丹,秦建中,许锦,等.塔河油田奥陶系油藏成藏期次研究[J].石油实验地质,2014,36(1):83-88.  
Rao Dan, Qin Jianzhong, Xu Jin, et al. Accumulation periods of Ordovician reservoirs in Tahe Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 83-88.
- [21] 马安来,金之钧,刘金钟.塔里木盆地寒武系深层油气赋存相态研究[J].石油实验地质,2015,37(6):681-688.  
Ma Anlai, Jin Zhijun, Liu Jinzhong. Hydrocarbon phase in the deep Cambrian of the Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(6): 681-688.
- [22] 丁勇.塔河油田奥陶系油气藏流体分布与受控因素[J].海相油气地质,2016,21(1):13-18.  
Ding Yong. Distribution and control factors of fluids in Ordovician reservoirs in Tahe Oil Field, Tarim Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2016, 21(1): 13-18.
- [23] 赵艳军,陈红汉.油包裹体荧光颜色及其成熟度关系[J].地球科学(中国地质大学学报),2008,33(1):91-96.  
Zhao Yanjun, Chen Honghan. The relationship between fluorescence colors of oil inclusions and their maturities [J]. Earth Science (Journal of China University of Geoscience), 2008, 33(1): 91-96.
- [24] 李纯泉,陈红汉,刘惠民.利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次[J].地球科学(中国地质大学学报),2010,35(4):657-662.  
Li Chunquan, Chen Honghan, Liu Huimin. Identification of hydrocarbon charging events by using micro-beam fluorescence spectra of petroleum inclusions [J]. Earth Science (Journal of China University of Geoscience), 2010, 35(4): 657-662.
- [25] 方欣欣,甘华军,姜华,等.利用石油包裹体微束荧光光谱判识塔北碳酸盐岩油气藏油气充注期次[J].地球科学(中国地质大学学报),2012,37(3):580-586.  
Fang Xinxin, Gan Huajun, Jiang Hua, et al. Analyzing hydrocarbon-charging periods of carbonate reservoir in north Tarim by micro fluorescence spectrum of petroleum inclusions [J]. Earth Science (Journal of China University of Geoscience), 2012, 37(3): 580-586.
- [26] 林小云,魏民生,丰勇,等.四川盆地川西坳陷东坡沙溪庙组油气成藏关键时刻研究[J].石油实验地质,2017,39(1):50-57.  
Lin Xiaoyun, Wei Minsheng, Feng Yong, et al. Key moments for hydrocarbon accumulation in Shaximiao Formation on the eastern slope of West Sichuan Depression, Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(1): 50-57.
- [27] 牛子铨,柳广弟,曹喆,等.银额盆地查干凹陷油藏特征及油气成藏过程[J].石油实验地质,2016,38(1):32-39.  
Niu Zicheng, Liu Guangdi, Cao Zhe, et al. Reservoir characteristics and hydrocarbon accumulation in Chagan Sag, Yingen-Ejinaqi Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(1): 32-39.
- [28] 吴海,赵孟军,李伟强,等.库车坳陷阿瓦特地区油气动态演化过程[J].断块油气田,2016,23(3):294-299.  
Wu Hai, Zhao Mengjun, Li Weiqiang, et al. Dynamic hydrocarbon accumulation process in Awate District of Kuqa Depression [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2016, 23(3): 294-299.