

文章编号: 1001-6112(2011)05-0531-05

# 松辽盆地王府凹陷扶杨油层原油充注途径示踪

蒋兴超<sup>1,2,3</sup>, 王铁冠<sup>4</sup>, 陈践发<sup>4</sup>, 冯子辉<sup>5</sup>, 王雪<sup>5</sup>

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 长江大学 地球化学系, 湖北 荆州 434023; 3. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州 434023; 4. 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 5. 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

**摘要:** 基于砂岩油藏充注模式, 通过研究油藏内部原油成熟度的微细变化, 依据成熟度参数的等值线可以示踪油藏充注的过程, 成熟度参数等值线向前最为凸出的部位是石油运移/充注的优势途径。通过研究各项饱和烃成熟度参数, 筛选出三环萜烷/ $17\alpha(\text{H})-\text{C}_{30}$  藿烷,  $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$ ,  $\text{C}_{30}$  重排藿烷/ $17\alpha(\text{H})-\text{C}_{30}$  藿烷,  $\text{C}_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  等 4 项不受其他地质因素影响的参数, 用于王府凹陷扶杨油层原油运移/充注途径的研究。通过 17 件扶杨油层原油的研究表明, 所有参数均反映出王府凹陷原油成熟度分布规律一致, 双 32 井为原油充注点, 其离烃源灶最近; 研究区内存在 3 条优势运移/充注途径, 一是自双 32 井往北东方向充注至双 26—双 301—双 31 井区; 二是自双 32 井处, 经双 38 井, 往北西方向充注至长 64—长 11—长 17 井区; 三是自双 32 井往北西方向充注至双 231—双 23 井区。

**关键词:** 成熟度; 油气运移; 扶杨油层; 王府凹陷; 松辽盆地

**中图分类号:** TE122.1

**文献标识码:** A

## Pathway tracing of crude oil filling in Fuyang oil layer, Wangfu Sag, Songliao Basin

Jiang Xingchao<sup>1,2,3</sup>, Wang Tieguan<sup>4</sup>, Chen Jianfa<sup>4</sup>, Feng Zihui<sup>5</sup>, Wang Xue<sup>5</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Department of Geochemistry, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China; 3. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China; 4. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 5. Institute of Petroleum Exploration and Development, Daqing Oilfield Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

**Abstract:** Based on the filling pattern of sandstone reservoir, according to the minor variation of crude oil maturity in reservoir, the filling pathway has been traced with maturity contour. The peak of maturity contour refers to the advanced pathway for petroleum migration and filling. 4 parameters which are not influenced by other geologic factors have been chosen in the studies of petroleum migration and filling pathway in Fuyang oil layer, Wangfu Sag, including tricyclic terpanes/ $17\alpha(\text{H})-\text{C}_{30}$  hopanes ratio,  $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$  ratio,  $\text{C}_{29}$  sterane  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  ratio, and  $\text{C}_{30}$  dihopanes/ $17\alpha(\text{H})-\text{C}_{30}$  hopanes ratio. 17 samples from Fuyang oil layer have been analyzed, indicating that crude oil maturities all over the Wangfu Sag have the same feature. Well Shuang32 is the filling point which is close to source kitchen. There are 3 advanced migration and filling pathways in the study region: 1) from well Shuang32 to well Shuang26—Shuang301—Shuang31 in NE direction; 2) from well Shuang32, crossing well Shuang38, to well Chang64—Chang11—Chang17 in NWW direction; 3) from well Shuang32 to well Shuang231—Shuang23 in NW direction.

**Key words:** maturity; petroleum migration; Fuyang oil layer; Wangfu Sag; Songliao Basin

王府凹陷位于松辽盆地朝阳沟油田东南, 以长春岭背斜为界, 与西北部的三肇凹陷相邻(图 1)。它是在晚古生代变质岩、岩浆岩基底上于燕山期发展定型的沉积凹陷, 其发育经历了“隆起、裂谷、拗陷、抬升”4 个构造演化阶段, 形成了下断上拗的双

层沉积结构<sup>[1-2]</sup>。扶杨油层(扶余、杨大城子油层)作为松辽盆地北部重要的产油气层位, 油气储集于下白垩统泉头组三、四段河流及三角洲相砂岩中; 其原油主要来自上覆青山口组一段暗色泥岩, 青山口组二、三段亦有局部的生烃贡献; 盖层主要为青

收稿日期: 2010-12-02; 修订日期: 2011-08-29。

作者简介: 蒋兴超(1980—), 男, 博士研究生, 从事油气成藏和油气地球化学研究。E-mail: jxc5414955@yahoo.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目“原油中含氮化合物分布特征与油藏储层连通性研究”(40773039)。

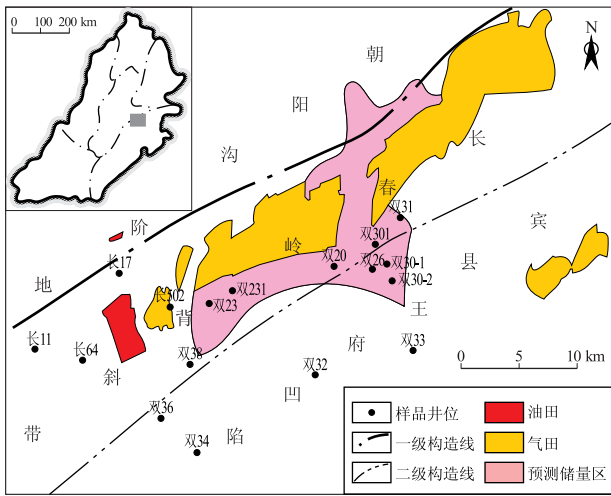


图 1 松辽盆地研究区构造单元及样品分布

Fig. 1 Tectonic unit and sample distribution in study area, Songliao Basin

一段发育的泥岩,属于上生下储式生储盖组合<sup>[3-6]</sup>。前人研究表明,青山口组暗色泥岩以I型、II型干酪根为主,青一段暗色泥岩厚度为 67~108 m,泥地比大于 98%;青二、三段暗色泥岩厚度为 120~270 m,泥地比大于 95%<sup>[1]</sup>。油气运移(充注)作为油气成藏的控制因素之一,是烃源层与储集层之间的连接纽带<sup>[7]</sup>,是研究油气成藏的重要环节,因此研究王府凹陷原油优势运移/充注途径具有重要意义。

## 1 样品与试验分析条件

研究中共采集了 13 件扶余油层( $K_1f$ ), 4 件杨大城子油层( $K_1y$ )原油样品(表 1)。原油先用正己烷沉淀脱沥青质后,再用氧化铝/硅胶柱层析进行族组分分离,分别用正己烷、二氯甲烷/正己烷混合溶剂(2:1, 体积比)、无水乙醇+三氯甲烷依次冲洗出饱和烃、芳烃和非烃组分。饱和烃馏分使用美国 Finnigan 公司 SSQ710 型 GC/MS 分析系统进行分析鉴定。

色谱条件:DB-5 石英毛细柱(30 m×0.32 mm)。

温度程序:在 100 °C 恒温 1 min,从 100 °C 以 4 °C/min 升温到 220 °C,再从 220 °C 以 2 °C/min 升温到 300 °C,恒温 20 min;载气为 He,气化室温度 300 °C。

质谱条件:采用 EI(70 eV)电子轰击方式,发射电流 300  $\mu$ A,信号倍增电压 1 000 V,扫描范围  $m/z$  50~600,扫描时间 1.8 s。

## 2 运移/充注指标的选择

基于 England 等<sup>[8-9]</sup>建立的砂岩油藏充注模

式,依据油藏内部原油成熟度的微细变化,可以表征石油运移与油藏充注的途径。即在一个油藏范围内,早期充注的石油成熟度较低,而晚期充注的石油成熟度相对较高,晚期成熟度较高的原油驱动早期成熟度较低的原油,以“波阵面”方式持续向前运移/充注,直至注满圈闭的有效空间为止。油藏内部总是存在着原油成熟度的细微差异,在原油运移/充注的沿途出现原油的成熟度梯度,成熟度相对最高的原油分布在最接近油藏充注点的地带<sup>[8-10]</sup>。

因此,在具备一定数量油井和油样的前提下,依据原油的成熟度参数的等值线,可以示踪油藏充注的过程。成熟度等值线数值降低的方向为石油运移/充注的指向,成熟度参数等值线向前最为凸出的部位是原油运移/充注的优势途径的所在,成熟度相对最高的油井处于距离油藏充注点最近的位置,据此可以确定原油充注方向、充注点,可以预测烃源灶的方位<sup>[8,11-12]</sup>。

由于很多有机地球化学的成熟度参数受多种地质因素的影响,往往在应用中具有多解性。因此必须从众多成熟度参数中,采用相关分析的方法,筛选出彼此相关性好的参数,即为不受或很少受其他地质因素影响的参数;而彼此相关性差的参数,其中必有一项参数受到其他因素影响。只有彼此相关性良好的参数,才能作为示踪运移/充注的有效成熟度参数,用于示踪石油运移/充注过程。本文采用上述方法,从众多饱和烃成熟度参数中筛选出相关性较好的 4 项生物标志化合物参数用于示踪王府凹陷原油的运移/充注途径(表 1,图 2)。图 2 揭示出三环萜烷/ $17\alpha(H)-C_{30}$ 藿烷,  $Ts/(Ts+Tm)$ ,  $C_{30}$ 重排藿烷/ $17\alpha(H)-C_{30}$ 藿烷,  $C_{29}$ 甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  等 4 项的成熟度参数两两之间呈现出良好的正相关性,适于王府凹陷原油运移/充注途径的示踪。

## 3 王府凹陷油气的运移/充注途径

图 3a 为王府凹陷扶杨油层原油中  $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  比值在平面上的等值线图。随着原油成熟度的增加,20S 和 20RC<sub>29</sub> 规则甾烷的 C-14, C-17 位上发生异构化作用,导致  $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  比值从非零值增加到 0.7 左右,此参数是非常有效的成熟度评价指标<sup>[13]</sup>。双 32 井处  $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  比值最大(0.68),而分布在外围的样品,比如长 11、长 17、双 20、双 31、双 33 井等该比值都低于 0.40。从  $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  比值的分布特征来看,研究区内存在 2 个低值区域,即双 20—

表 1 松辽盆地王府凹陷扶杨油层原油成熟度参数

Table 1 Crude oil maturity parameters in Fuyang oil layer, Wangfu Sag, Songliao Basin

井号	层位	深度/m	三环萜烷/ 17 $\alpha$ (H)-C <sub>30</sub> 藿烷	Ts/(Ts+Tm)	C <sub>29</sub> 甾烷 $\beta/\beta+(\beta+\alpha)$	C <sub>30</sub> 重排藿烷/ 17 $\alpha$ (H)-C <sub>30</sub> 藿烷
长 11	K <sub>1</sub> f	591.1~594.6	0.15	0.56	0.37	0.07
长 17	K <sub>1</sub> f	594.4~596.6	0.15	0.58	0.38	0.07
长 64	K <sub>1</sub> f	170.2~271.8	0.18	0.60	0.43	0.11
双 20	K <sub>1</sub> f	952.4~953.6	0.15	0.45	0.38	0.10
双 23	K <sub>1</sub> f	779.8~807.7	0.14	0.40	0.47	0.09
双 231	K <sub>1</sub> f	846.0~848.0	0.22	0.61	0.43	0.16
双 26	K <sub>1</sub> f	959.0~1020.0	0.25	0.41	0.59	0.38
双 301	K <sub>1</sub> f	872.0~892.0	0.16	0.42	0.46	0.11
双 30-1	K <sub>1</sub> f	991.2~1080.2	0.22	0.62	0.40	0.15
双 30-2	K <sub>1</sub> f	1 033.0~1 151.0	0.14	0.46	0.36	0.08
双 31	K <sub>1</sub> f	874.0~887.0	0.16	0.43	0.39	0.10
双 34	K <sub>1</sub> f	1 641.2~1 657.0	0.22	0.62	0.58	0.25
双 36	K <sub>1</sub> f	1 330.6~1 376.4	0.11	0.26	0.51	0.08
长 502	K <sub>1</sub> y	649.0~659.0	0.21	0.45	0.48	0.14
双 32	K <sub>1</sub> y	2 021.0~2 050.0	0.53	0.84	0.68	0.51
双 33	K <sub>1</sub> y	1 635.0~1 642.0	0.23	0.59	0.38	0.24
双 38	K <sub>1</sub> y	1 302.0~1 309.0	0.40	0.80	0.55	0.35

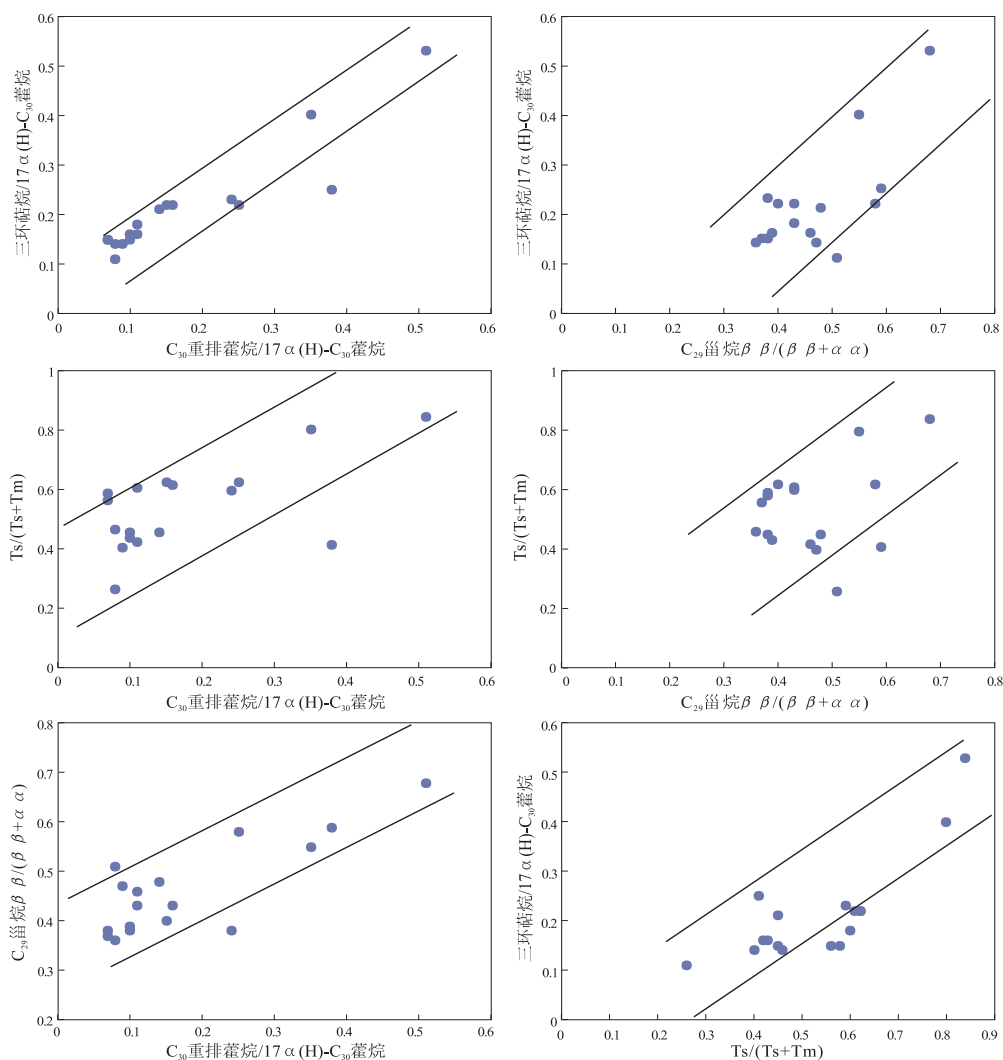


图 2 松辽盆地王府凹陷扶杨油层原油成熟度参数关系

Fig. 2 Correlation among crude oil maturity parameters in Fuyang oil layer, Wangfu Sag, Songliao Basin

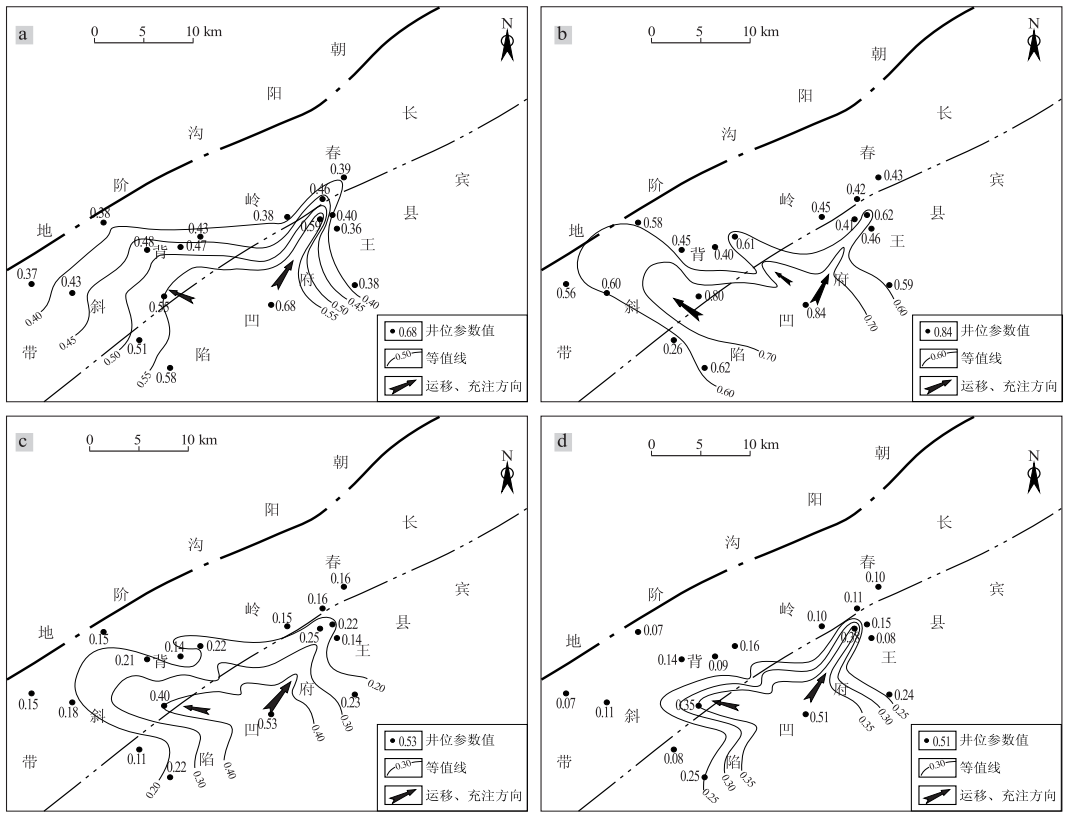


图 3 松辽盆地王府凹陷扶杨油层原油充注方向与途径

a.  $C_{29}$  甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  等值线; b.  $T_s/(T_s+T_m)$  等值线;  
c. 三环萘烷/ $17\alpha(H)-C_{30}$  藿烷等值线; d.  $C_{30}$ -重排藿烷/ $17\alpha(H)-C_{30}$  藿烷等值线

Fig. 3 Direction and pathway for crude oil filling in Fuyang oil layer, Wangfu Sag, Songliao Basin

双 26—双 31—双 30—2 井区和长 64—长 17—长 11 井区。双 32 井原油达到了中等成熟原油的标准,而低值区内的原油为低成熟度原油<sup>[14]</sup>。从等值线展布规律可以看出,研究区存在 2 条原油优势运移/充注途径,一条是自双 32 井往北东方向运移/充注至双 20—双 26—双 31—双 30—2 井区,另一条是自双 32 井往北西方向运移/充注至双 23—长 502—长 17—长 11 井区。

前人研究表明,18 $\alpha(H)-22,29,30$ -三降藿烷( $T_s$ )在后生作用阶段中比 17 $\alpha(H)-22,29,30$ -三降藿烷( $T_m$ )稳定,因此  $T_s/(T_s+T_m)$  比值随着原油成熟度的增加而升高,此参数是评价来自同一有机相中相同源岩的原油成熟度的最可靠指标<sup>[15-16]</sup>。图 3b 为王府凹陷扶杨油层原油中  $T_s/(T_s+T_m)$  比值在平面上的等值线图。 $T_s/(T_s+T_m)$  比值在双 32 井处出现最大值(0.84),在双 38 井处为次最大值(0.80),低值样品点集中在双 20—双 26—双 301—双 31 井区,双 23—长 502—长 17 井区为另一相对低值区。因此, $T_s/(T_s+T_m)$  比值的等值线图揭示出双 32 井接近烃源灶,为原油充注点。王府凹陷原油的优势运移/充注途径有 3 条,

一是自双 32 井处,经双 38 井往北西西方向运移/充注至长 64—长 11—长 17 井区;二是自双 32 井往北西方向运移/充注至双 23—双 231 井区;三是自双 32 井往北东方向运移/充注至双 26—双 301—双 31 井区。

图 3c 为王府凹陷扶杨油层原油中三环萘烷/ $17\alpha(H)-C_{30}$  藿烷比值在平面上的等值线图。三环萘烷属于某类特定微生物生源,藿烷是典型的细菌生源产物,二者的比值主要反映 2 种生源产物的数量比率,由于干酪根中产生的三环萘烷的比例比藿烷的比例大,因此随着原油成熟度的增加该参数比值也不断升高<sup>[15]</sup>。从图中可以看出,与  $T_s/(T_s+T_m)$  比值类似,三环萘烷/ $17\alpha(H)-C_{30}$  藿烷比值的最大值出现在双 32 井,达到了 0.53,而双 38 井处为另一相对高值(0.40);其余样品点该比值均较低,低值区主要分布在双 32 井北东方向的双 20—双 301—双 31 井区以及北西方向的长 11—长 64—长 17 井区。从等值线的展布特征可以明显看出研究区内双 32 井处为原油充注点,该井处存在 3 条优势的原油运移/充注途径,一是从双 32 井往北东方向充注至双 26—双 301—双 31 井区;二是自双 32

井处,经双 38 井,往北西西方向充注至长 64—长 11—长 17 井区;三是自双 32 井往北西方向充注至双 231—双 23 井区。

$C_{30}$ 重排藿烷的前身物可能是细菌藿烷类,它是 D 环上带有功能团的藿烷类经过重排作用形成的,其热稳定性强<sup>[17]</sup>。通过分子力学计算表明, $C_{30}$ 重排藿烷系列化合物比  $18\alpha(H)$ —新藿烷系列稳定,而  $18\alpha(H)$ —新藿烷系列又比  $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷稳定<sup>[18]</sup>。因此,随着原油成熟度的增加会导致  $C_{30}$ 重排藿烷/ $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷比值的增加。图 3d 为王府凹陷扶杨油层原油中  $C_{30}$ 重排藿烷/ $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷比值在平面上的等值线图。同前述 3 项参数类似, $C_{30}$ 重排藿烷/ $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷比值的极大值同样出现于双 32 井(0.51),为原油充注点;双 20—双 26—双 31—双 30—2 井区和长 64—长 17—长 11 井区为该比值的 2 个低值区域。 $C_{30}$ 重排藿烷/ $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷比值的等值线分布形式揭示出王府凹陷内原油有 3 条优势充注途径,第一条是自双 32 井往北东方向运移/充注至双 23—双 231 井区,第二条是自双 32 井往北西西方向运移/充注至双 23—长 502—长 17—长 11 井区,第三条是自双 32 井往北西方向充注至双 231—双 23 井区。

## 4 结论

1)通过研究各项成熟度指标相关性,从众多饱和烃成熟度参数中筛选出相关性较好的 4 项生物标志化合物参数,即三环萜烷/ $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷,  $T_s/(T_s+T_m)$ ,  $C_{30}$ 重排藿烷/ $17\alpha(H)$ — $C_{30}$ 藿烷,  $C_{29}$ 甾烷  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ ,这 4 项参数不受或很少受其它地质因素的影响,适用于示踪王府凹陷原油的运移/充注途径。

2)王府凹陷原油饱和烃成熟度指标展示了一致的分布特征。成熟度最高的油样为双 32 井杨大城子油层的原油,其为中等成熟原油。低成熟原油主要分布在双 32 井北东方向的双 20—双 301—双 31 井区以及北西西方向的长 11—长 64—长 17 井区。

3)基于石油运移/充注的途径会出现原油的成熟度梯度,成熟度相对最高的石油分布在最接近油藏充注点的地带这一原理,表明双 32 井相对最接近王府凹陷的烃源灶,是研究区内原油的充注点。

4)王府凹陷内存在 3 条优势原油运移/充注途径,一是自双 32 井往北东方向充注至双 26—双 301—双 31 井区;二是自双 32 井处,经双 38 井,往北西西方向充注至长 64—长 11—长 17 井区;三是自双

32 井往北西方向充注至双 231 井—双 23 井区。

## 参考文献:

- [1] 黄福堂,冯子辉. 松辽盆地王府凹陷油气水地化特征与油源对比[J]. 石油勘探与开发,1996,23(6):28—33.
- [2] 郭英海,李壮福,李熙哲,等. 松辽盆地王府凹陷的沉积充填及生储盖组合[J]. 中国矿业大学学报(自然科学版),2001,30(1):30—34.
- [3] 杨喜贵,付广. 松辽盆地北部扶杨油层油气成藏与分布的主控因素[J]. 特种油气藏,2002,9(2):8—12.
- [4] 王杰,王铁冠,陈践发,等. 松辽盆地双城—太平川地区烃源岩生烃潜力评价[J]. 矿物岩石,2006,26(3):100—106.
- [5] 陈昭年,王永卓,王小敏. 松辽盆地朝长地区扶杨油层油气运移模式[J]. 断块油气田,2009,16(6):22—24.
- [6] 王杰,刘文汇,王铁冠,等. 松辽盆地双城—太平川地区油—岩地球化学特征及油源对比研究[J]. 石油实验地质,2009,31(5):506—511.
- [7] 李贤庆,侯读杰,肖贤明,等. 应用含氮化合物探讨油气运移和注入方向[J]. 石油实验地质,2004,26(2):200—205.
- [8] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface[J]. J Geol Soc,1987,144(2):327—347.
- [9] England W A, Mackenzie A S. Geochemistry of petroleum reservoirs[J]. Geol Rundsch,1989,78:214—237.
- [10] Wang Tieguan, He Faqi, Li Meijun, et al. Alkyldibenzothiophenes: molecular tracers for filling pathway in oil reservoirs[J]. Chinese Science Bulletin,2004,49(22):2399—2404.
- [11] Karlson D A, Larter S. Analysis of petroleum fractions by TLC—FID: applications to petroleum reservoir description[J]. Org Geochem,1991,17(5):603—617.
- [12] Li Meijun, Wang Tieguan, Liu Ju, et al. Total alkyl dibenzothiophenes content tracing the filling pathway of condensate reservoir in the Fushan Depression, South China Sea[J]. Sci China Ser D—Earth Sci,2008,51(SI):138—145.
- [13] Seifert W K, Moldowan J M. Use of biological markers in petroleum exploration[M]// Methods in Geochemistry and Geophysics. New York:Elsevier,1986:261—290.
- [14] 蒋兴超,王铁冠,冯子辉,等. 王府凹陷及其周缘地区中浅层原油地球化学特征[J]. 新疆石油地质,2007,28(1):40—43.
- [15] Seifert W K, Moldowan J M. Applications of steranes, terpanes, and monoaromatics to the maturation, migration, and source of crude oils[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1978,42:77—95.
- [16] Peters K E, Moldowan J M. 生物标志化合物指南[M]. 姜乃煌,张水昌,译. 北京:石油工业出版社,1995.
- [17] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Volume 2, Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [18] Moldowan J M, Fago F J, Carlson R M K, et al. Rearranged hopanes in sediments and petroleum[J]. Geochim Cosmochim Acta,1991,55(11):3333—3353.