文章编号:1673-5005(2012)03-0026-06

松辽盆地北部长春岭背斜油源识别及油源区资源评价

陈方文[1,2], 卢双舫[1,2], 李吉君[1,2], 刘海英[1,2]

(1. 东北石油大学 地球科学学院 黑龙江 大庆 163318;
2. 东北石油大学 油气藏形成机理与资源评价省重点实验室,黑龙江 大庆 163318)

摘要:通过分析原油成熟度差异、油气优势运移方向、油气分布规律、圈闭对油气运移的屏蔽作用及烃源岩地化特征,并结合化学动力学方法对松辽盆地北部长春岭背斜油源及油源区资源量进行研究。结果表明:长春岭背斜原油与王府凹陷原油成熟度相近,且明显低于三肇凹陷和朝阳沟阶地原油成熟度,长春岭背斜位于王府凹陷油气优势运移方向上,原油平面上环王府凹陷分布,朝阳沟阶地对由三肇凹陷而来的油气具有屏蔽作用,长春岭背斜原油主要来源于王府凹陷;王府凹陷青山口组烃源岩有机质丰度高、类型好,但成熟度较低,其油、气生成量分别为 13.6×10^{11} t 和 4.4×10^{8} m^3,油、气资源量分别为 $(0.68\sim2.72)\times10^{8}$ t 和 $(0.022\sim0.088)\times10^{11}$ m^3。

关键词:松辽盆地北部; 长春岭背斜; 王府凹陷; 油源; 资源评价

中图分类号:TE 122.1 **文献标志码**:A doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2012.03.005

Oil-source identification and resource evaluation of oil-source area of Changchunling anticline in Northern Songliao Basin

CHEN Fang-wen[1,2], LU Shuang-fang[1,2], LI Ji-jun[1,2], LIU Hai-ying[1,2]

(1. *College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing* 163318, *China*;
2. *Province Key Lab of Petroleum Accumulation Mechanism and Resource Prediction, Daqing* 163318, *China*)

Abstract: By analyzing the difference of crude oil maturity, preferred direction of hydrocarbon migration, distribution of hydrocarbon, shielded effect of trap on hydrocarbon migration, and geochemical characteristics of source rocks, and by combining with chemistry kinetic method, the oil-source of Changchunling anticline in Northern Songliao Basin, and the resource of its oil-source area were studied. The results show that the crude oil maturity of Changchunling anticline is similar to that of Wangfu depression, but significantly lower than that of Sanzhao depression and Chaoyanggou terrace. Changchunling anticline is on the preferred direction of hydrocarbon migration from Wangfu depression. The distribution of crude oil is around Wangfu depression on level. Chaoyanggou terrace shields the hydrocarbon migration from Sanzhao depression to Changchunling anticline. The crude oil of Changchunling anticline comes mainly from Wangfu depression. The source rocks of Qingshankou formation in Wangfu depression are high abundance of organic matter, good type, but low maturity. The amount of oil and gas generation from Qingshankou formation are 13.6×10^{11} t and 4.4×10^{8} m^3 in Wangfu depression, and the resource of oil and gas are $(0.68-2.72)\times10^{8}$ t and $(0.022-0.088)\times10^{11}$ m^3 respectively.

Key words: Northern Songliao Basin; Changchunling anticline; Wangfu depression; oil-source; resource evaluation

长春岭背斜勘探始于 20 世纪 50 年代,在 1990 至 1995 年先后发现了长春岭、五站、三站及涝州等气田,随着勘探工作的深入,相继在原有气田周边的构造低部位发现较大规模油藏。长春岭背斜天然气源于深层煤系地层已得到广泛认同,但关于原油来源于三肇凹陷还是王府凹陷一直存在分歧[1-2],严重制约长春岭背斜油气勘探和开发,同时也迫切需要对其油源区资源潜力进行评价。因此,笔者依据长春岭背斜原油成熟度、油气分布特征及王府凹陷地化分析资料,利用化学动力学方法,对长春岭背斜油

收稿日期:2011-09-11
基金项目:国家"973"前期专项课题(2011CB211701); 国家自然科学基金项目(41172134,41002044)
作者简介:陈方文(1984-),男(汉族),湖北仙桃人,博士研究生,从事油气藏形成与资源评价研究。

万方数据

源及油源区资源量进行研究。

1　研究区地质概况

长春岭背斜位于松辽盆地东南隆起区，是盆地的二级构造单元，紧邻朝阳沟阶地，东西两侧分别是王府凹陷和三肇凹陷（图 1）。长春岭背斜长轴为 NE-SW 方向，其长轴约 50 km，短轴约 10 km。长春岭背斜在青山口组一段沉积时期已具雏形，嫩江组沉积末期长春岭背斜带发育定型[2]。

长春岭背斜带已探明油藏主要位于临近王府凹陷一侧，背斜另一侧仅发现五 204、三 403 和长 27 等含油区块（图 1）。主要的含油气层位是泉头组泉四段、泉三段上部所对应的扶余油层和杨大城子杨一油层组（合称为扶杨油层），属于三角洲平原亚相，所沉积的分流河道砂体为油气良好的储集空间。其上覆青山口组地层属于深湖-半深湖沉积环境，巨厚的泥岩既是烃源岩又是区域性盖层。

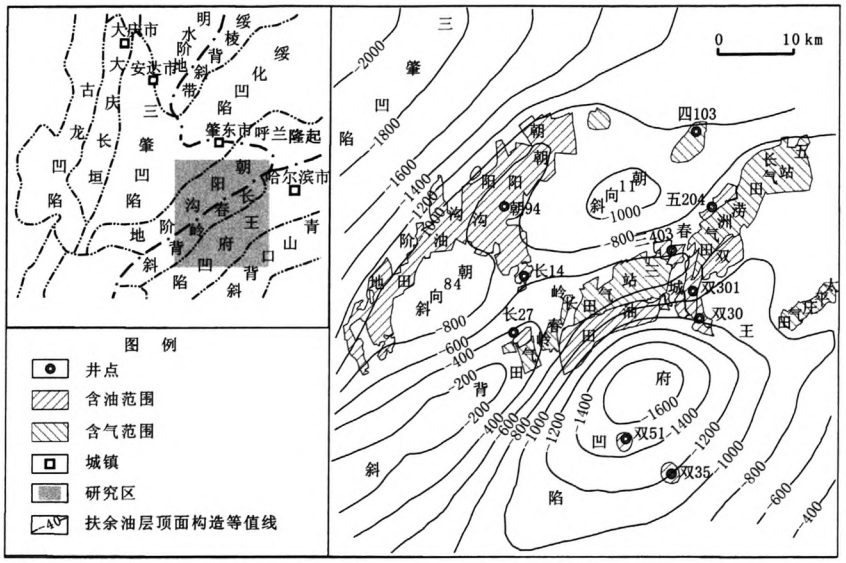

图 1　长春岭背斜构造位置及油气分布

Fig. 1　Structural location and oil-gas distribution of Changchunling anticline

2　长春岭背斜油源分析

2.1　原油成熟度对比

从原油地化特征方面进行比较，青山口组青一段沉积时期三肇凹陷和王府凹陷属于同一沉积湖盆，所沉积的烃源岩类型相同，利用常规的生物标志化合物及其相对含量无法区分长春岭背斜带原油油源。本次研究在三肇凹陷、朝阳沟阶地、长春岭背斜和王府凹陷共选取 29 个原油样品进行饱和烃气相色谱-质谱化验分析，通过 C_{29} 甾烷 $w(20S)/w(20S+20R)$、$w(\beta\beta)/w(aa+\beta\beta)$ 相关图确定原油成熟度的方法[3-5]，比较三肇凹陷、朝阳沟阶地、长春岭背斜和王府凹陷的原油成熟度（图 2）。结果表明：长春岭背斜和王府凹陷原油成熟度相近且明显低于三肇凹陷和朝阳沟阶地原油成熟度；三肇凹陷和朝阳沟阶地原油为成熟原油，长春岭背斜和王府凹陷原油为低成熟—成熟原油。从原油成熟度上的差别认为长春岭背斜原油主要来源于王府凹陷。

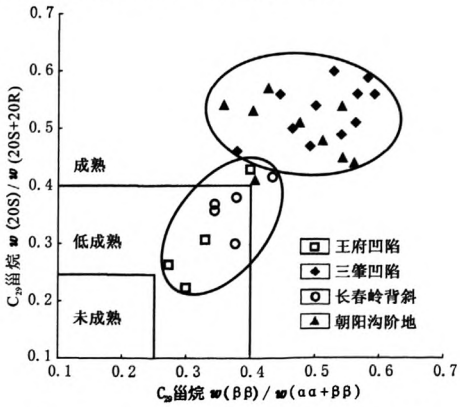

图 2　C_{29} 甾烷 $w(20S)/w(20S+20R)$ 与 $w(\beta\beta)/w(aa+\beta\beta)$ 关系图

Fig. 2　Cross-plots of C_{29} sterane $w(20S)/w(20S+20R)$ and $w(\beta\beta)/w(aa+\beta\beta)$

万方数据

2.2　油气优势运移方向

油气二次运移是一个极不均一的过程,其优势运移方向主要受构造形态、砂体和断层影响[6]。由构造形态所形成的势能差对油气的运移方向起主导作用,断层与砂体相匹配可以形成断层-岩性输导脊沿断层走向输导油气。当断层-岩性输导脊的断层走向与地层倾向一致时,可以指示油气优势运移方向[7]。

泉三段、泉四段油层属于三角洲平原沉积环境,分流河道砂体非常发育,呈 SSW-NNE 向展布(图 3),为油气二次运移提供了良好的输导层。泉头组断层走向主要为近 SN 向和 NNE 向(图 3),断层走向与分流河道砂体展布方向小角度相交,形成一系列 SSW-NNE 向展布的断层-岩性输导脊,结合王府凹陷中心低、四周高的构造形态,王府凹陷生成油气的优势运移方向为 SSW 向和 NNE 向,长春岭背斜在王府凹陷油气优势运移方向上。这与已探明的含油范围相一致,已探明含油范围主要分布于王府凹陷的 NNE 方向,在其 SSW 方向勘探程度较低但也见油气零星分布,在凹陷其他方向基本未见油气显示(图 1)。

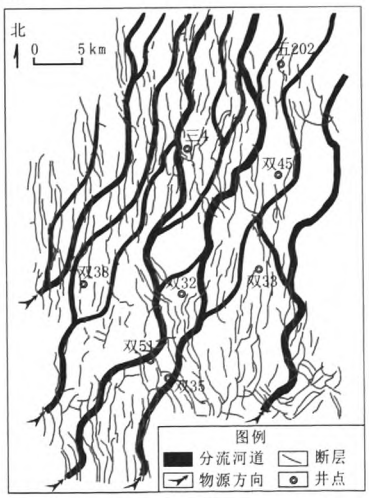

图 3　王府凹陷泉四段 F12 沉积单元河道砂体与断层叠合图

Fig. 3　Channel sand and faults of F12 sedimentary unit in member 4 of Quantou formation in Wangfu depression

2.3　油气分布规律

平面上,长春岭背斜带已探明原油主要分布在靠近王府凹陷一侧,而且双 30 和双 301 等高产区块均位于王府凹陷西北部的鼻状构造(图 1)。剖面上,以试油数据为基础并结合测井解释绘制的由王府凹陷延伸至长春岭背斜的油藏剖面(图 4)显示:在王府凹陷边缘扶二油层组上部(FII1)至扶一油层组上部(FI1)等 4 个砂层组均含油气,随着地层抬升油层逐渐减少、水层增多,在长春岭背斜顶部仅目的层段上部 FI2 砂层组含油。这种随着地层抬升扶余油层下部水层增加,油层逐渐减少的趋势可以指示油气由王府凹陷向长春岭背斜运移。综合油气平面、剖面分布规律,认为长春岭背斜原油主要来源于王府凹陷。

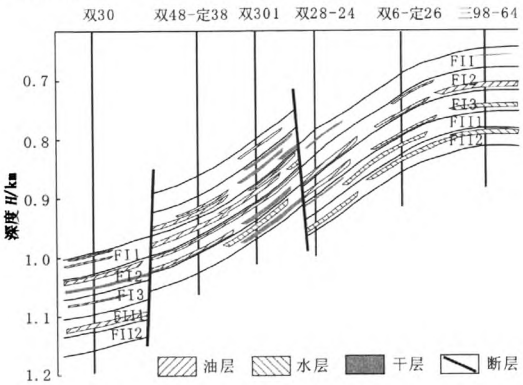

图 4　双 30 井-三 98-64 井油藏剖面

Fig. 4　Reservoir profile from Shuang30 well to San98-64 well

2.4　朝阳沟阶地屏蔽三肇凹陷而来的油气

三肇凹陷青一段源岩在明水组末期达到排烃高峰[8],该时期已形成构造幅度较高的长春岭背斜和构造幅度相对较低的朝阳沟阶地[9]。对长春岭背斜而言,朝阳沟阶地屏蔽三肇凹陷而来的油气,三肇凹陷运移来的油气需先充注朝阳沟阶地之后才能向长春岭背斜充注。目前勘探显示,油气已基本充满朝阳沟阶地(图 1),在朝阳沟阶地与长春岭背斜之间的构造高部位,即朝 94 至长 14 井附近亦含油气。但是,长春岭背斜靠近长 14 井附近仅发现长 27 区块含油,据此推测三肇凹陷运移而来的原油在充满朝阳沟阶地之后仅有很少一部分沿朝 94 至长 14 井方向运移到长 27 井区附近聚集,而且该方向与三肇凹陷油气优势运移方向一致。

3　源岩地化特征

3.1　有机质丰度

对王府凹陷钻遇青山口组地层的 37 口探井共 693 个样品点的地化特征进行统计(表 1)。青一段烃源岩有机碳含量 w(TOC)值为 0.12% ~6.47%,青二三段烃源岩 w(TOC)值为 0.10% ~3.57%,均

万方数据

值分别为 3.1% 和 1.53%；对生烃势(S_1+S_2)分析，青一段烃源岩 S_1+S_2 值为$(0.01\sim58.95)\times10^{-3}$，青二三段烃源岩 S_1+S_2 值为$(0.01\sim29.4)\times10^{-3}$，均值分别为 17.87 和 7.96 mg/g；对氯仿沥青"A"分析，青一段烃源岩氯仿沥青"A"含量为 0.01% ~ 1.70%，青二三段烃源岩氯仿沥青"A"含量为 0.01% ~0.57%，均值分别为 0.38% 和 0.20%。按照黄第藩等[10-11]提出的陆相烃源岩的评价标准，青一段和青二三段烃源岩有机质丰度均较高，达到好—优质源岩的标准。

表 1　王府凹陷源岩地化特征

Table 1　Geochemical characteristics of source rocks in Wangfu depression

层位	有机碳含量 w(TOC)/%	生烃势 $S_1+S_2/10^{-3}$	氯仿沥青"A"/%	镜质体反射率 R_o/%
青二三段	1.53(27) 0.10~3.57	7.96(43) 0.01~29.40	0.20(30) 0.01~0.57	0.53(61) 0.39~0.65
青一段	3.10(53) 0.12~6.47	17.87(71) 0.01~58.95	0.38(63) 0.01~1.70	0.56(157) 0.42~0.8
沙河子组	2.96(81) 0.45~16.34	1.05(77) 0.03~13.95	0.01(26) 0.03~0.05	2.11(4) 2.04~2.30

注：表中数据为均值(样品数)/最小值~最大值。

3.2　有机质类型

通过对王府凹陷 21 口探井共 49 个样品的有机元素分析数据进行统计，制作青一段和青二三段烃源岩有机质原子比 H/C 与 O/C 关系图(图 5)，确定王府凹陷青一段烃源岩有机质类型主要为II_1-I型，青二三段烃源岩有机质类型主要为II_1 型。从有利于生油的角度上看，青山口组烃源岩为类型较好的源岩。

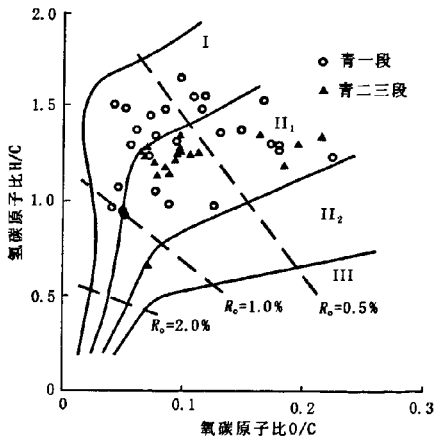

图 5　王府凹陷青山口组有机质原子比 H/C-O/C 关系图

Fig. 5　H/C-O/C relation diagram of organic matter from Qingshankou formation in Wangfu depression

3.3　有机质成熟度

镜质体反射率(R_o)是反映有机质成熟度最有效的参数。一般认为 R_o<0.5% 对应未成熟阶段，0.5% ~1.3% 对应低熟-成熟阶段，1.3% ~2.0% 对应高成熟阶段，R_o>2.0% 对应过成熟阶段。对王府凹陷 21 口探井共 218 个样品点进行统计(表 1)，青一段烃源岩有机质 R_o 值分布为 0.42% ~0.80%，均值为 0.56%，处于未成熟至低成熟演化阶段；青二三段烃源岩有机质 R_o 值分布为 0.39% ~ 0.65%，均值为 0.53%，成熟度比青一段低，处于未成熟至低成熟演化阶段。另外，原子比 H/C 与 O/C 关系也显示王府凹陷青山口组烃源岩处于较低的热演化阶段(图 5)。

4　油气生成量及资源量评价

4.1　成烃转化率

为计算源岩有机质的成烃转化率，选取成熟度较低的盛 1 井源岩样品(R_o=0.41%)进行热解实验。热解实验在 Rock-Eval-II 型热解仪上进行，从 200 ℃开始，分别以 10、20 和 40 ℃/h 的升温速率将样品加热至 600 ℃，实时记录不同温度(时间)下的产油量、产气量，即可得到不同升温速率条件下各温度点的成油和成气转化率，以此数据进行化学动力学标定(图 6)，标定方法见文献[12]~[13]。

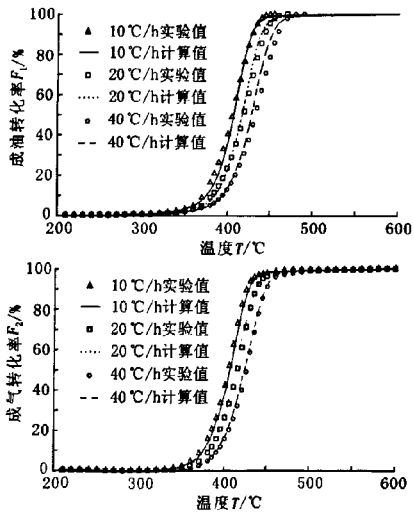

图 6　盛 1 井青一段烃源岩样品成油、成气转化率与温度及升温速率的关系

Fig. 6　Transformation ratio of oil and gas generated from K_1qn^1 source rocks of well Sheng1 at different temperature and heating rate

通过化学动力学标定，得到有机质成油、成气转

万方数据

化率与深度的关系(图 7)。根据成烃转化率与深度的关系,确定王府凹陷青山口组烃源岩生烃门限约为 1.0 km,约在 1.2 km 进入生烃高峰。

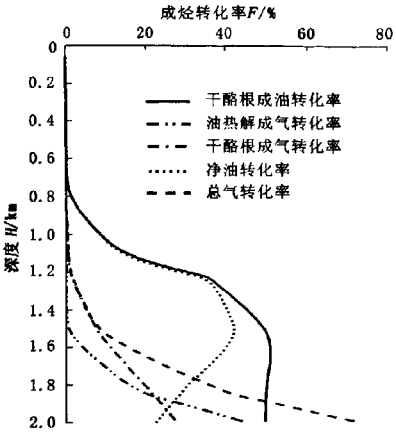

图 7　王府凹陷青山口组烃源岩成烃转化率剖面

Fig. 7　Transformation ratio evolve profiles of source rocks from Qingshankou formation in Wangfu depression

4.2　原始有机质丰度与氢指数恢复

虽然王府凹陷青一段和青二三段烃源岩处于未成熟—低成熟演化阶段,但也生成并排出了一定数量的油气。目前实测的残余有机碳不能反映烃源岩有机质的原始丰度,各项有机质性质指标所反映的有机质类型也有偏差。因此,进行生烃量计算时需要对有机质丰度和氢指数进行恢复。

依据化学动力学原理计算成烃转化率并恢复有机质原始丰度和原始氢指数方法[14],利用上述成烃转化率,结合研究区埋藏史和热史,即可得到王府凹陷青一段和青二三段有机质的原始有机碳和原始氢指数(表 2)。恢复后的原始有机碳含量 $w(\mathrm{TOC_0})$ 和原始氢指数($I_{\mathrm{H_0}}$)均高于实测的残余有机碳 $w(\mathrm{TOC})$ 和残余氢指数(I_{H}),而且青一段恢复前后的有机碳和氢指数的差别明显大于青二三段。

4.3　油气资源量计算

以王府凹陷青一段、青二三段烃源岩原始有机碳含量等值线图、原始氢指数等值线图、源岩顶底埋深等值线图以及成烃转化率、源岩密度随深度的变化规律等数据为基础,对王府凹陷青山口组烃源岩油气生成量进行定量评价。其中,原始有机碳含量等值线图、原始氢指数等值线图和成烃转化率随深度的变化规律是根据现有地化分析数据利用化学动力学计算得到;源岩顶底埋深等值线图为井震相结合的解释结果;源岩密度随深度的变化规律由实测样品点对密度测井曲线进行校正而得到。首先,将研究区按照 200 m×200 m×1 m 进行三维网格化;然后给每个网格单元赋予相应的源岩厚度、原始有机碳含量、原始氢指数和成烃转化率;最后利用微积分方法将每个网格单元的油气生成量进行累加,即得到油气生成量。

表 2　王府凹陷青山口组烃源岩原始氢指数和原始有机碳

Table 2　Original hydrogen index and organic matter abundance of K_1qn source rocks in Wangfu depression

层位	埋深 H/km	氢指数 $I_{\mathrm{H}}/10^{-3}$	原始氢指数 $I_{\mathrm{H_0}}/10^{-3}$	有机碳含量 $w(\mathrm{TOC})$/%	原始有机碳含量 $w(\mathrm{TOC_0})$/%
K_1qn^1	0.83504	609.31	633.93	3.39	3.53
K_1qn^1	1.09778	516.39	596.37	1.71	1.93
K_1qn^1	1.13752	614.93	694.46	5.57	6.44
K_1qn^1	1.18012	546.32	625.59	1.78	2.03
K_1qn^1	1.23500	621.45	784.07	2.43	3.42
K_1qn^1	1.25200	697.09	851.97	2.99	4.34
K_1qn^1	1.26400	522.02	695.42	1.52	2.03
K_1qn^1	1.28400	636.43	804.72	2.81	3.94
K_1qn^1	1.29800	605.47	786.99	4.06	5.54
K_1qn^1	1.44017	546.08	717.73	1.45	1.96
K_1qn^1	1.51100	528.68	741.22	2.32	2.93
K_1qn^1	1.87617	403.56	806.34	2.25	4.30
K_1qn^{2+3}	1.10000	478.47	550.56	1.25	1.42
K_1qn^{2+3}	1.12704	789.08	869.74	3.57	4.23
K_1qn^{2+3}	1.17500	645.04	727.22	2.74	3.18
K_1qn^{2+3}	1.18500	609.57	684.89	2.38	2.77
K_1qn^{2+3}	1.23270	625.98	795.05	1.02	1.43
K_1qn^{2+3}	1.30216	498.82	665.69	1.27	1.68
K_1qn^{2+3}	1.37745	398.23	559.08	1.02	1.29
K_1qn^{2+3}	1.68813	86.13	189.35	1.31	1.46
K_1qn^1 均值		570.64	728.23	2.69	3.53
K_1qn^{2+3} 均值		516.42	630.20	1.82	2.18

注:表中只列出部分数据。

按照现代油气成因机制,单位体积源岩生成油气量取决于有机质的丰度、类型和成熟度,每个网格单元的油气生成量计算公式为

$$Q = SH\rho w(\mathrm{TOC_0})I_{\mathrm{H_0}}F. \tag{1}$$

利用微积分求取凹陷总油气生成量的计算公式为

$$Q = \int_1^n\int_{z_0}^{z} S\rho(z)w(\mathrm{TOC_0})I_{\mathrm{H_0}}F(z)\,\mathrm{d}z\mathrm{d}n. \tag{2}$$

式中,S 为网格单元面积,$\mathrm{m^2}$;$\rho(z)$ 为烃源岩密度,$\mathrm{t/m^3}$;$F(z)$ 为由化学动力学模型计算得到的成烃转化率,%;z_0 和 z 分别为烃源岩的最小和最大埋深,m;n 为网格单元数目。

按照此方法计算王府凹陷青山口组烃源岩生油、生气量分别为 13.6×10^8 t 和 4.4×10^{11} $\mathrm{m^3}$。参考前人研究结果[11,15],分别取油、气的运聚系数为 5% ~ 20% 和 0.5% ~ 2%,王府凹陷油、气资源量分别为

万方数据

$(0.68\sim2.72)\times10^8$ t 和 $(0.022\sim0.088)\times10^{11}$ m^3。

5 结 论

(1)长春岭背斜和王府凹陷原油成熟度相近,且明显低于三肇凹陷和朝阳沟阶地原油成熟度,长春岭背斜位于王府凹陷油气优势运移方向上,原油平面上环王府凹陷分布,具有由王府凹陷向长春岭背斜运移的特征,朝阳沟阶地对由三肇凹陷而来的油气具有屏蔽作用,长春岭背斜原油主要来源于王府凹陷。

(2)按照陆相烃源岩评价标准,王府凹陷青山口组烃源岩有机丰度高、类型好,但成熟度较低。王府凹陷青山口组烃源岩生油、生气量分别为 13.6×10^8 t 和 4.4×10^{11} m^3,油、气资源量分别为 $(0.68\sim2.72)\times10^8$ t 和 $(0.022\sim0.088)\times10^{11}$ m^3。

参考文献:

[1] 魏兆胜,苗洪波,王艳清,等. 松辽盆地长春岭背斜带成藏过程[J]. 石油勘探与开发,2006,33(3):351-355.
WEI Zhao-sheng, MIAO Hong-bo, WANG Yan-qing, et al. Reservoir formation process in the Changchunling anticline of Songliao Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006,33(3):351-355.

[2] 杨庆杰,林景晔,王雅峰. 松辽盆地长春岭背斜带油气成藏过程探讨[J]. 石油天然气学报,2007,29(3):11-14.
YANG Qing-jie, LIN Jing-ye, WANG Ya-feng. On reservoir forming process of Changchunling anticline belt in Songliao Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007,29(3):11-14.

[3] 任拥军,卢宁宁,邱隆伟. 大王北洼陷精细油源对比[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):921-931.
REN Yong-jun, LU Ning-ning, QIU Long-wei. Oil-source rock correlation in Dawangbei sag[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2010,40(4):921-931.

[4] 常振恒,陈中红,王兴武,等. 东濮凹陷濮城地区沙一段盐湖相原油地球化学特征[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(3):22-27.
CHANG Zhen-heng, CHEN Zhong-hong, WANG Xing-wu, et al. Geochemical characteristics of salt lake facies oil from member 1 of Shahejie formation in Pucheng area in Dongpu depression[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natrual Science), 2007,31(3):22-27.

[5] 陈中红,查明,吴孔友,等. 准噶尔盆地陆梁地区油气运移方向研究[J]. 石油大学学报:自然科学版,2003,27(2):19-22.
CHEN Zhong-hong, ZHA Ming, WU Kong-you, et al. Hydrocarbon migration direction in Luliang section of Jungger Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natrual Science), 2003,27(2):19-22.

[6] 刘惠民. 济阳坳陷临南洼陷油气运聚方向与分布规律[J]. 现代地质,2009,23(5):894-901.
LIU Hui-min. Hydrocarbon migration and accumulation direction and distribution of Linnan sag in Jiyang depression[J]. Geoscience, 2009,23(5):894-901.

[7] 王建伟,宋国奇,宋书君,等. 东营凹陷南斜坡古近系油气沿输导层优势侧向运移的控因分析[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(5):36-40.
WANG Jian-wei, SONG Guo-qi, SONG Shu-jun, et al. Controlling factors for petroleum dominant lateral m igration along Eogene carrier beds in southern slope of Dongying sag[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natrual Science), 2009,33(5):36-40.

[8] 付秀丽,庞雄奇. 松辽盆地北部青一段烃源岩排烃特征研究[J]. 石油天然气学报,2008,30(1):166-169.
FU Xiu-li, PANG Xiong-qi. Hydrocarbon expulsion characters of Qn1 source rocks in the Northern Songliao Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008,30(1):166-169.

[9] 陈昭年,王小敏,陈珊,等. 松辽盆地朝长地区扶余油层的构造演化[J]. 现代地质,2008,22(4):512-519.
CHEN Zhao-nian, WANG Xiao-min, CHEN Shan, et al. Structural evolution of Fuyu reservoir in the Chaochang area of Songliao Basin[J]. Geoscience, 2008,22(4):512-519.

[10] 卢双舫,张敏,薛海涛,等. 油气地球化学[M]. 北京:石油工业出版社,2008:200-225.

[11] 卢双舫,胡慧婷,刘海英,等. 英台断陷深层的气源条件及勘探潜力[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):912-920.
LU Shuang-fang, HU Hui-ting, LIU Hai-ying, et al. Gas source conditions and exploration potential of deep layer in Yingtai fault depression[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2010,40(4):912-920.

[12] 卢双舫. 有机质成烃动力学理论及其应用[M]. 北京:石油工业出版社,1996:62-74.

(下转第37页)

万方数据

ZHANG Shan-wen, ZENG Jian-hui. An experiment study on influence of fault on petroleum migration and accumulation in Guantao formation, Zhanhua depression [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences,2003,28(2):185-189.

[8] 曾溅辉,王洪玉.层间非均质砂层石油运移和聚集的模拟实验研究[J].石油大学学报:自然科学版,2000,24(4):108-111.
ZENG Jian-hui, WANG Hong-yu. Experimental study on oil migration and accumulation in the heterogeneous sand beds of different porosity and permeability [J]. Journal of the University of Petroleum,China(Edition of Natural Science),2000,24(4):108-111.

[9] 姜丽娜,邹华耀.郯庐断裂带渤中-渤南段新构造运动期断层活动与油气运聚[J].石油与天然气地质,2009,30(4):462-468.
JIANG Li-na, ZOU Hua-yao. Fault activities and hydrocarbon migration and accumulation during the Neotectonic period in the Bozhong Bonan segment of the Tanlu fault zone[J]. Oil & Gas Geology,2009,30(4):462-468.

[10] 吴智平,李伟,郑德顺,等.沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J].高校地质学报,2004,10(3):405-417.
WU Zhi-ping, LI Wei, ZHENG De-shun, et al. Analysis on features and origins of the Mesozoic and Cenozoic faults in Zhanhua sag[J]. Geological Journal of China Universities,2004,10(3):405-417.

[11] 孔凡仙,郭汝泰,王永诗,等.埕岛油田地质与勘探实践[M].北京:石油工业出版社,2000:42-43.

[12] 李宏义,姜振学,董月霞,等.断层封闭能力的有限性研究及模拟实验[J].石油实验地质,2010,32(6):583-587.
LI Hong-yi, JIANG Zhen-xue, DONG Yue-xia, et al. Geological study and physical simulation experiment on the limitation of fault-sealing[J]. Petroleum Geology & Experiment,2010,32(6):583-587.

[13] BOUVIER J D, SIJPESTEIJN K, KLUESNER D F, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun Ricer field, Niggeria [J]. AAPG,1989,73(11):1397-1414.

[14] YIELDING G B, FREEMAN, NEEDHAM D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG, 1997,81(6):897-917.

[15] LINDSAY N G, MURPHY F C, WALSH J J, et al. Outcrop studies of shale smear on fault surfaces[J]. International Association of Sedimentologists Special Publication,1993,15(1):113-123.

[16] 陈伟,吴智平,侯峰,等.断裂带内部结构特征及其与油气运聚关系[J].石油学报,2010,31(5):774-780.
CHEN Wei, WU Zhi-ping, HOU Feng, et al. Internal structures of fault zones and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation[J]. Acta Petrolei Sinica,2010,31(5):774-780.

[17] 杨凤丽,印兴耀,吴国忱.埕岛油田河流相储层地震描述方法[J].石油学报,1999,20(4):24-28.
YANG Feng-li, YIN Xing-yao, WU Guo-chen. A study on seismic description method of the fluvial facies reservoir in Chengdao Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999,20(4):24-28.

(编辑 徐会永)

(上接第31页)

[13] 卢双舫,刘晓艳,付晓泰,等.未熟—低熟油生成机理的化学动力学研究及其初步应用[J].沉积学报,2001,19(1):130-135.
LU Shuang-fang, LIU Xiao-yan, FU Xiao-tai, et al. Chemical kientics study on the generation mechanism of immature to low-mature oil and its initial application [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001,19(1):130-135.

[14] 卢双舫,付广,王朋岩,等.天然气富集主控因素的定量研究[M].北京:石油工业出版社,2002:14-49.

[15] 周海燕,庞雄奇,姜振学,等.石油和天然气运聚效率的主控因素及定量评价[J].石油勘探与开发,2002,29(1):14-18.
ZHOU Hai-yan, PANG Xiong-qi, JIANG Zhen-xue, et al. Key factors controlling migration and accumulation efficiency of oil and gas and their quantitative evaluation [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002,29(1):14-18.

(徐会永)

万方数据