

文章编号:1000-0550(2014)06-1181-07

松辽盆地齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩生烃量评价^①

陈方文 卢双舫 丁雪

(中国石油大学(华东)非常规油气与新能源研究院 山东青岛 266580)

摘要 随着近年来齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩层段岩芯分析资料的积累和丰富,有必要再次对其烃源岩和生烃量开展评价。通过对齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩岩芯样品的地球化学特征分析、测试结果进行统计,以低成熟度烃源岩样品的高温热模拟实验为基础,利用化学动力学方法计算齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩成烃转化率随深度的变化规律,定量评价其生烃量。研究表明:齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质丰度高、类型好、处于未成熟至成熟的热演化阶段,生烃门限大约为1 500 m,约在1 750 m开始大量生烃;齐家—古龙凹陷青一段、青二三段和嫩一段烃源岩以生油为主,生油量分别为 195.95×10^8 t、 241.79×10^8 t和 134.77×10^8 t,生气量分别为 36.89×10^{11} m³、 17.64×10^{11} m³和 4.02×10^{11} m³,齐家—古龙凹陷中浅层油、气资源量分别为 $(28.63 \sim 57.25) \times 10^8$ t和 $(0.29 \sim 0.59) \times 10^{11}$ m³。

关键词 松辽盆地 齐家—古龙凹陷 中浅层 烃源岩 生烃量

第一作者简介 陈方文 男 1984年出生 博士 讲师 油气藏形成与资源评价 E-mail: cfwdqpi@163.com

中图分类号 TE122.1 **文献标识码** A

齐家—古龙凹陷是松辽盆地中央坳陷区的主力生油凹陷之一,其中浅层地层主要包括青一段、青二三段和嫩一段等三套烃源岩。国内学者对齐家—古龙凹陷中浅层的烃源岩进行多方面的研究,包括分析烃源岩有机岩石学特征^[1];厘定主力烃源岩层生油门限^[2-4];研究青一段、嫩一段烃源岩排烃特征及排烃量^[5,6];估算古龙凹陷生烃量和石油资源量^[6,7];建立评价青一段有效烃源岩的图版^[8];探讨由齐家—古龙凹陷地区油气运移导体体系及油源对比^[9,10]。然而,关于齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩的生烃量至今仍然缺少定量评价。而且随着近些年大庆油田的勘探和开发,以及实验室化验分析手段的提高,油田积累了一大批新的化验分析资料。因此有必要充分利用这些新获得的分析化验资料,结合前人对齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩的认识,进行更加深入、全面的研究,尤其是对齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩的地球化学特征、生烃门限和资源潜力等进行定量评价。

1 研究区概况

齐家—古龙凹陷位于松辽盆地中央坳陷区西部,是盆地的一个二级构造单元,面积约为5 500 km²,为长期发育的继承性凹陷,东侧紧邻大庆长垣,西侧与龙虎泡大安阶地接壤^[11-13]。齐家—古龙凹陷沉积地层包括断陷、坳陷和反转等三个构造层,由下至上沉

积并保存了下白垩统火石岭组(K₁h)、沙河子组(K₁sh)、营城组(K₁yc)、登娄库组(K₁d)和泉头组(K₁q);上白垩统青山口组(K₂qn)、姚家组(K₂y)、嫩江组(K₂n)、四方台组(K₂s)和明水组(K₂m);古近系依安组(E₂y);新近系大安组(N₂d)和泰康组(N₂t)等^[13-20]。主要的烃源岩为青山口组青一段(K₂qn¹)、青二三段(K₂qn²⁺³)和嫩江组嫩一段(K₂n¹)^[16],油气储层为青二三段(K₂qn²⁺³)高台子油层、泉头组三、四段(K₁q³、K₁q⁴)扶杨油层(扶余、扬大城子油层)和姚家组(K₂y)葡萄花油层、萨尔图油层^[13](图1)。

2 烃源岩地化特征

2.1 有机质丰度

对齐家—古龙凹陷内646口钻遇中浅层烃源岩的探井和评价井共6 546个样品点的地化特征进行统计(图2、表1)。在有机碳含量TOC分布范围进行统计,青一段烃源岩TOC值分布于0.11%~6.95%,青二三段烃源岩TOC值分布于0.08%~6.56%,嫩一段烃源岩TOC值分布于0.19%~6.66%,均值分别为2.50%、1.27%和2.47%;对烃源岩生烃潜力(S₁+S₂)含量分布范围进行统计,青一段烃源岩S₁+S₂值分布于0.04~65.33 mg/g,青二三段烃源岩S₁+S₂值分布于0.01~55.40 mg/g,嫩一段烃源岩S₁+S₂值分布在

^①国家自然科学基金项目(批准号:41302101,41330313)与中央高校基本科研业务费专项资金(编号:2472014CX02089A)联合资助
收稿日期:2013-09-16;收修改稿日期:2014-01-21

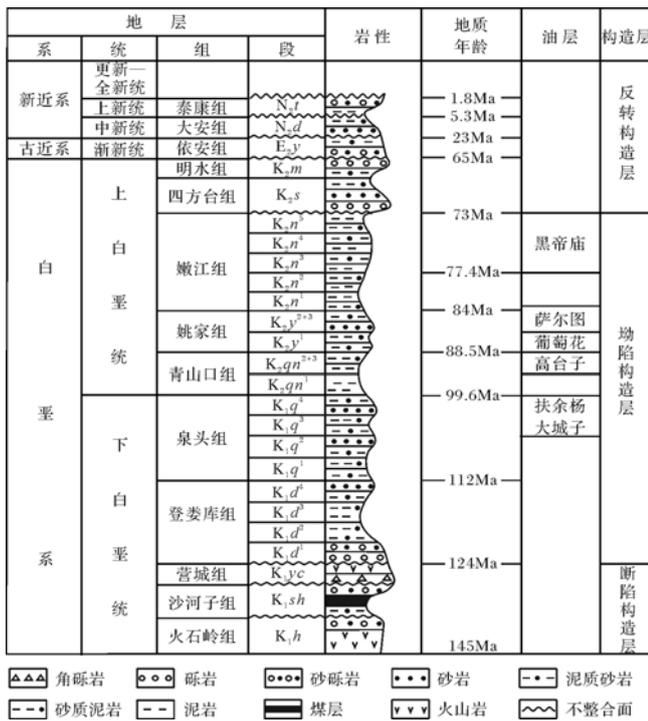


图1 齐家—古龙凹陷沉积地层概况

Fig.1 Stratigraphic column of the Qijia-Gulong depression

0.02~53.04 mg/g, 均值分别为 42.45 mg/g、28.08 mg/g 和 38.32 mg/g; 对烃源岩氯仿沥青“A”值分布范围进行统计, 青一段烃源岩氯仿沥青“A”值分布在 0.01%~1.75%, 青二三段烃源岩氯仿沥青“A”值分布范围为 0.01%~1.40%, 嫩一段烃源岩氯仿沥青“A”值分布在 0.01%~1.43%, 平均值分别为 0.49%、0.57%和 0.55%。依据黄第藩等^[21~23]对中国陆相沉积盆地烃源岩的划分标准, 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩(即青一段、青二三段和嫩一段烃源岩)有机质丰度均较高, 达到好—优质烃源岩的标准。

表1 齐家—古龙凹陷青一段、青二三段和嫩一段烃源岩地化特征

Table 1 Geochemical characteristics of the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

层位	有机碳 TOC / %	生烃潜力 S_1+S_2 / (mg/g)	氯仿沥青 “A” / %	镜质体反 射率 R_o / %
嫩一段 (K_{1,n^1})	2.47(716) 0.19~6.66	38.32(397) 0.02~53.04	0.55(251) 0.01~1.43	0.53(124) 0.38~0.88
青二三段 ($K_{1,qn^{2+3}}$)	1.27(1673) 0.08~6.56	28.08(488) 0.01~55.40	0.57(284) 0.01~1.40	0.81(145) 0.41~1.39
青一段 (K_{1,qn^1})	2.50(1816) 0.11~6.95	42.45(193) 0.04~65.33	0.49(101) 0.01~1.75	0.84(358) 0.37~1.42

注:表中数据为 均值(样品数)
最小值~最大值。

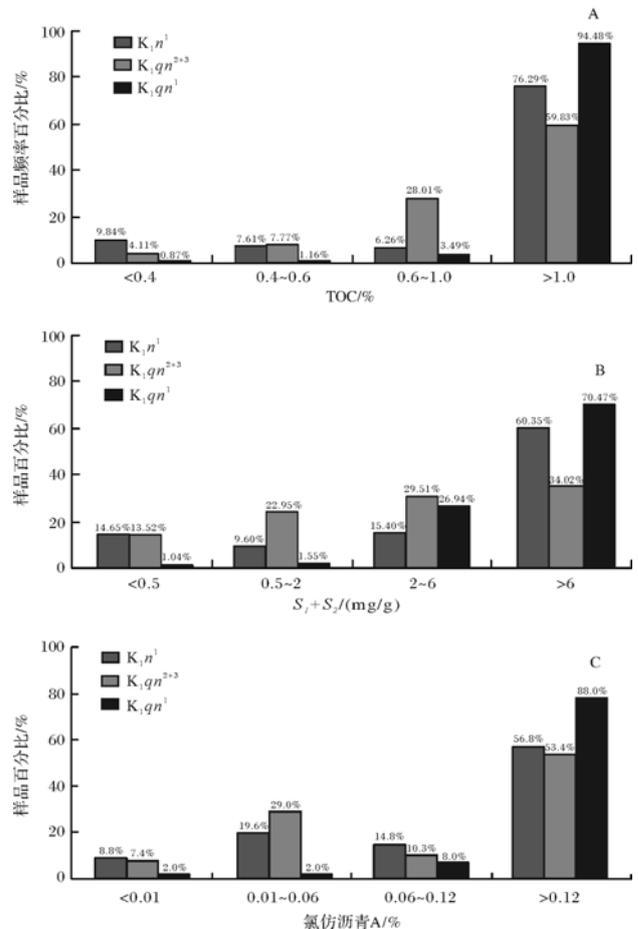


图2 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质丰度分布直方图
A.有机碳 TOC; B.生烃潜力 S_1+S_2 ; C.氯仿沥青“A”

Fig.2 Distribution histogram of richness of organic matter from the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

2.2 有机质类型

对齐家—古龙凹陷 20 口探井共 103 个中浅层烃源岩岩芯样品有机元素组成开展分析, 依据齐家—古龙凹陷中浅层有机质氢碳原子比和氧碳原子比 H/C 与 O/C 关系图(图 3), 齐家—古龙凹陷青一段烃源岩的有机质属于 II₁~I 型, 青二三段烃源岩的有机质属于 II₁~III 型, 嫩一段烃源岩的有机质属于 II₁~II₂ 型。齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩属于有利于生成石油的烃源岩。

2.3 有机质成熟度

镜质体反射率(R_o , %) 是评价烃源岩热演化程度(即成熟度)最直接、最可靠的参数。国内大多数学者认为 $R_o < 0.5\%$ 指示未成熟烃源岩, R_o 为 0.5%~1.3% 指示低熟—成熟烃源岩, R_o 为 1.3%~2.0% 指示高成熟烃源岩, $R_o > 2.0\%$ 指示过成熟烃源岩^[22,23]。

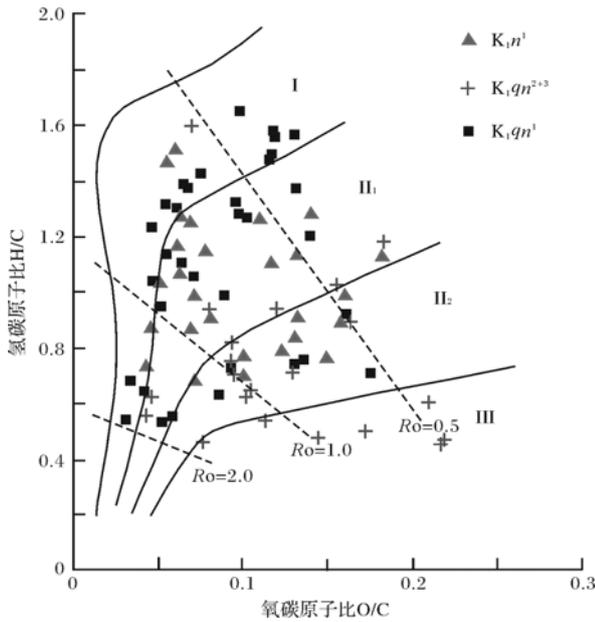


图 3 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质氢碳—氧碳原子比

Fig.3 H/C-O/C diagram of organic matter from the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

分析并统计齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩的 124 口探井共 627 个样品点的成熟度(表 1、图 4),青一段、青二三段和嫩一段烃源岩有机质 R_o 范围分别为 0.37%~1.42%、0.41%~1.39% 和 0.38%~0.88%, 平均值分别为 0.84%、0.81% 和 0.53%。统计结果表明:青一段烃源岩基本属于低熟—成熟演化阶段,仅有少量样品点处于未成熟阶段;青二三段烃源岩成熟度略低于青一段烃源岩,大部分样品点在低熟—成熟阶段,少量样品点处于未成熟阶段;嫩一段烃源岩成熟度明显低于青一段和青二三段烃源岩,处于未成熟—成熟阶段。另外, H/C 与 O/C 关系也显示齐家

—古龙凹陷中浅层烃源岩热演化程度从未成熟至成熟等阶段均有分布(图 3)。

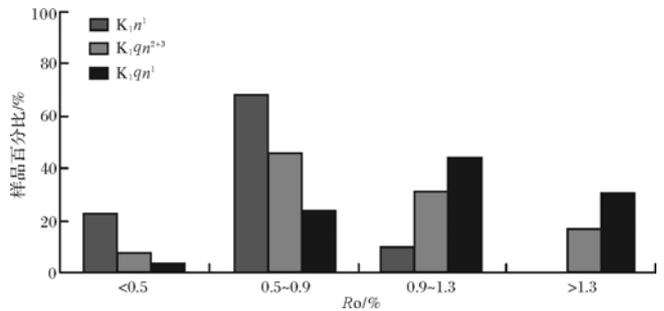


图 4 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质镜质体反射率(R_o /%)分布直方图

Fig.4 Distribution histogram of R_o from the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

3 生成油气量及资源量评价

3.1 有机质成烃转化率

为确定齐家—古龙凹陷烃源岩有机质成烃转化率随深度的变化规律,选取未成熟阶段(R_o 值为 0.41%)且具有典型代表性的盛 1 井青一段烃源岩样品进行热模拟实验。在 Rock-Eval II 型热解仪上分别以 10 °C/h、20 °C/h 和 40 °C/h 的升温速率将三份平行样品由 200 °C 开始加热至 600 °C,并在一定时间间隔记录单位质量烃源岩样品的产油量、产气量随温度或者时间的变化规律^[23,26]。获得样品在 3 种不同升温速率下各个温度点或者时间点有机质生油、生气转化率,利用它们标定有机质生油、生气的化学动力学参数(图 5),具体方法见文献[24~26]。

通过化学动力学标定,获得齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质生油和生气转化率随埋深的变化规律(图 6)。依据干酪根生油转化率随埋深的变化规

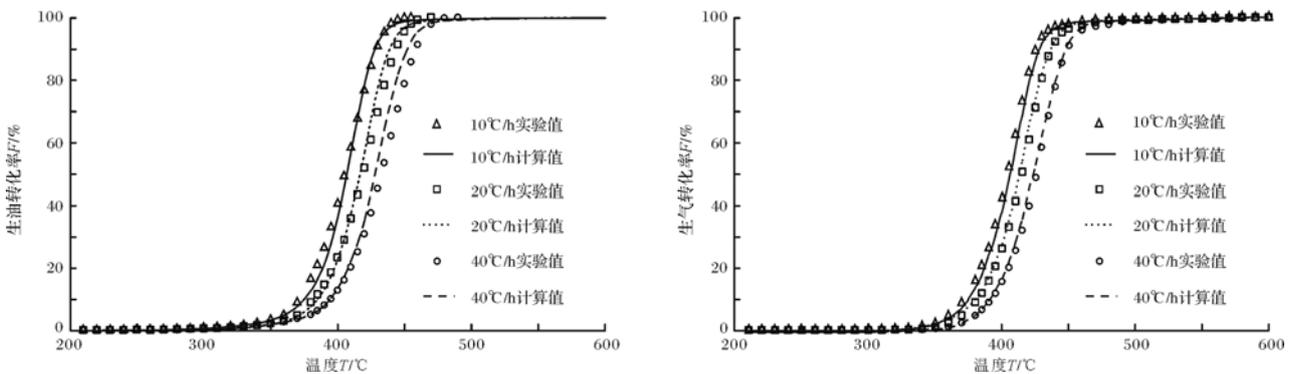


图 5 盛 1 井青一段烃源岩样品热模拟实验结果

Fig.5 The result of high temperature thermal simulation from K_{1qn^1} source rocks of Well Sheng1

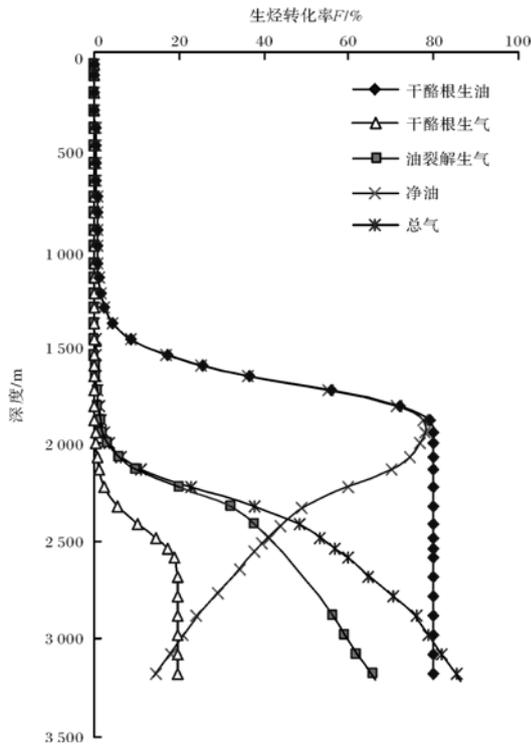


图6 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质成烃转化率随深度变化规律

Fig.6 Transformation ratio section of organic matter from the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

律,认为齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩生烃门限大约为1500 m,约在1750 m进入生烃高峰。该方法计算的生烃门限与生烃高峰所对应的埋深与前人统计结果^[4]基本一致。

3.2 原始有机碳与原始氢指数

处于未成熟—成熟阶段的齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩在其演化过程中已经有部分油气发生了二次运移。实验室分析的残余有机碳(TOC)和残余氢指数(HI)已经不能代表烃源岩有机质原始丰度和原始生烃潜力^[22,23]。为此,开展烃源岩生烃量计算时有必要对烃源岩原始有机碳(TOC₀)和原始氢指数(HI₀)进行计算。

以化学动力学原理为基础,依据计算成烃转化率

并恢复烃源岩原始有机碳(TOC₀)和原始氢指数(HI₀)的方法^[27],结合有机质成烃转化率随埋深的变化以及研究区埋藏史和热史,计算研究区烃源岩有机质原始有机碳(TOC₀)和原始氢指数(HI₀) (表2)。烃源岩原始有机碳(TOC₀)和原始氢指数(HI₀)含量均明显高于残余有机碳(TOC)和残余氢指数(HI)。另外,由下至上氢指数恢复系数和有机碳恢复系数呈减小的趋势,与烃源岩有机质转化率一致。

3.3 油气资源量

齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩生成的油气资源量计算以K₁qn¹、K₁qn²⁺³和K₁n¹等中浅层烃源岩原始有机碳(TOC₀)平面等值线图、原始氢指数(HI₀)平面等值线图、有机质成烃转化率随深度变化规律、烃源岩顶底层埋深等值线图和烃源岩密度与深度的关系等数据为基础^[22,23]。前三种数据资料是在地化分析数据的基础上,利用化学动力学方法计算获得;烃源岩顶底层埋深等值线图是通过相应的地震反射层位进行时深转换得到;烃源岩密度与深度的关系通过实测样品点密度校正密度测井曲线而得到。在计算研究区烃源岩的油气生成量时,首先将齐家—古龙凹陷中浅层地层按照300 m×300 m×1 m(长×宽×高)进行网格化;然后对各个单元赋予对应的TOC₀、HI₀、成烃转化率(F)、厚度(H)和密度(ρ)等值;最后利用微积分对各个单元的油气生成量进行求和,获到油气生成量^[23]。

按照油气成因理论,单位体积烃源岩生成油气量与有机质丰度、类型和成熟度等参数相关^[22,23],分别可以由原始有机碳、原始氢指数和有机质成烃转化率来表征。每个网格单元的油气生成量计算方法为公式^[23](1):

$$Q = S \cdot H \cdot \rho \cdot \text{TOC}_0 \cdot \text{HI}_0 \cdot F \quad (1)$$

利用微积分求取凹陷总油气生成量计算方法见公式^[23](2):

$$Q = \int_1^n \int_{z_0}^z S \cdot \rho(z) \cdot \text{TOC}_0 \cdot \text{HI}_0 \cdot F(z) \cdot dzdn \quad (2)$$

表2 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩原始氢指数和原始有机碳

Table 2 Original hydrogen index and total organic carbon of the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

层位	残余氢指数 HI/mg/g	原始氢指数 HI ₀ /mg/g	氢指数恢复系数 HI ₀ /HI	残余有机碳 TOC/%	原始有机碳 TOC ₀ /%	有机碳恢复系数 TOC ₀ /TOC
K ₁ n ¹	38.32	473.02	12.34	2.47	3.09	1.25
K ₁ qn ²⁺³	28.08	401.34	12.51	1.27	1.61	1.27
K ₁ qn ¹	42.45	597.25	14.07	2.50	3.20	1.28

表3 齐家—古龙凹陷中浅层油气资源量

Table 3 Generated and accumulated oil and gas of the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong depression

层位	总净生油量 /10 ⁸ t	总生气量 /10 ¹¹ m ³	油资源量 /10 ⁸ t (运聚系数 5%~10%)	气资源量 /10 ¹¹ m ³ (运聚系数 0.5%~1%)
K ₁ n ¹	134.77	4.02	6.74~13.48	0.02~0.04
K ₁ qm ²⁺³	241.79	17.64	12.09~24.18	0.09~0.18
K ₁ qn ¹	195.95	36.89	9.80~19.60	0.18~0.37
合计	572.51	58.55	28.63~57.25	0.29~0.59

式中, S 为网格单元面积,m²; $\rho(z)$ 为烃源岩密度(随深度变化),t/m³; $F(z)$ 为由化学动力学模型计算得到的成烃转化率(随深度变化),%; z_0 和 z 分别为烃源岩的最小和最大埋深,m; n 为网格单元个数^[23]。

按照此方法计算齐家—古龙凹陷青一段烃源岩生油、生气量分别为195.95×10⁸ t和36.89×10¹¹ m³;青二三段烃源岩生油、生气量分别为241.79×10⁸ t和17.64×10¹¹ m³;嫩一段烃源岩生油、生气量分别为134.77×10⁸ t和4.02×10¹¹ m³。齐家—古龙凹陷青一段、青二三段和嫩一段烃源岩主要以生油为主,伴生少量天然气。在油气运聚系数方面,周海燕等(2002)统计国内外主要含油气盆地石油运聚系数范围为1%~10%,天然气运聚系数范围为0.1%~1%,石油与天然气运聚系数一般相差一个数量级^[28];柳广弟等(2003)对松辽盆地等多个油气运聚单元进行解剖,确定松辽盆地石油运聚系数范围为5%~10%^[29,30]。参考前人研究成果^[22,23,29,30],本次研究分别以石油、天然气运聚系数为5%~10%和0.5%~1%,计算齐家—古龙凹陷中浅层石油、天然气资源量分别为(28.63~57.25)×10⁸ t和(0.29~0.59)×10¹¹ m³。

4 结论

(1) 齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩有机质丰度高、类型好,处于未成熟至成熟的热演化阶段,生烃门限大约为1 500 m,约在1 750 m开始大量生烃。

(2) 齐家—古龙凹陷青一段、青二三段和嫩一段烃源岩以生油为主,生油量分别为195.95×10⁸ t、241.79×10⁸ t和134.77×10⁸ t,生气量分别为36.89×10¹¹ m³、17.64×10¹¹ m³和4.02×10¹¹ m³,若分别以石油、天然气运聚系数为5%~10%和0.5%~1%,则齐家—古龙凹陷中浅层石油、天然气资源量分别为(28.63~57.25)×10⁸ t和(0.29~0.59)×10¹¹ m³。

参考文献 (References)

1 马安来,李贤庆,熊波,等. 松辽盆地齐家古龙地区烃源岩有机岩石

- 学研究[J]. 石油勘探与开发,2002,29(4):26-28 [Ma Anlai, Li Xianqing, Xiong Bo, et al. Organic petrology of the source rocks in Qijia-Gulong region, Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 26-28]
- 2 杨万里,李永康,高瑞琪,等. 松辽盆地陆相生油母质的类型与演化模式[J]. 中国科学,1981,11(8):1000-1008 [Yang Wanli, Li Yongkang, Gao Ruiqi, et al. Type and evolution model of continental kerogen in the Songliao Basin [J]. Science in China, 1981, 11(8): 1000-1008]
- 3 高瑞琪,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2003 [Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. Formation Conditions and Distribution Regularity of Oil and Gas Fields in Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003]
- 4 卢双舫,李娇娜,刘绍军,等. 松辽盆地生油门限重新厘定及其意义[J]. 石油勘探与开发,2009,36(2):166-173 [Lu Shuangfang, Li Ji-aona, Liu Shaojun, et al. Oil generation threshold depth of Songliao Basin: revision and its significance [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2): 166-173]
- 5 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 Xiuli, Pang Xiongqi. Hydrocarbon generation-expulsion characteristics of K₁n¹ in the north of Songliao Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(1): 166-169]
- 6 马中振,庞雄奇,付秀丽,等. 松辽盆地北部嫩江组一段源岩排烃特征及潜力评价[J]. 石油天然气学报,2008,30(3):24-28 [Ma Zhongzhen, Pang Xiongqi, Fu Xiuli, et al. Hydrocarbon-expulsion characteristics and the potential resource evaluation of source rocks from the first member of Nenjiang Formation of northern Songliao Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(3): 24-28]
- 7 林铁锋,吴海波,张庆石,等. 古龙凹陷向斜区油气聚集规律与勘探方法[J]. 大庆石油地质与开发,2009,28(5):23-27 [Lin Tiefeng, Wu Haibo, Zhang Qingshi, et al. Hydrocarbon accumulation rule and exploration method in synclinal area of Gulong sag [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2009, 28(5): 23-27]
- 8 霍秋立,曾花森,张晓畅,等. 松辽盆地北部青山口组一段有效烃源岩评价图版的建立及意义[J]. 石油学报,2012,33(3):379-384 [Huo Qiuli, Zeng Huasen, Zhang Xiaochang, et al. An evaluation diagram of effective source rocks in the first member of Qingshankou Formation in northern Songliao Basin and its implication [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 379-384]
- 9 林铁锋,向才富,冯子辉,等. 松辽盆地滨北地区油气运移输导体系分析[J]. 地质科技情报,2009,28(1):63-68 [Lin Tiefeng, Xiang

- Caifu, Feng Zihui, *et al.* Pathway systems for hydrocarbon migration to Binbei district, Songliao Basin, northeast China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2009, 28(1): 63-68]
- 10 卢双舫, 纪贤伟, 王跃文, 等. 松辽盆地滨北区油气运移与油源对比[J]. *大庆石油地质与开发*, 2008, 27(2): 1-3 [Lu Shuangfang, Ji Xianwei, Wang Yuewen, *et al.* Hydrocarbon migration and source rock correlation in Binbei area of Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2008, 27(2): 1-3]
- 11 李如一, 林铁锋. 松辽盆地北部古龙地区葡萄花油层储层特征研究[J]. *大庆石油地质与开发*, 2008, 27(3): 32-35 [Li Ruyi, Lin Tiefeng. Reservoir characteristics of Putaohua reservoir in Gulong area in northern Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2008, 27(3): 32-35]
- 12 张庆石. 松辽盆地古龙凹陷南部葡萄花油层油气富集规律[J]. *大庆石油地质与开发*, 2011, 30(6): 38-42 [Zhang Qingshi. Petroleum accumulation laws in Putaohua reservoirs in south Gulong sag of Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2011, 30(6): 38-42]
- 13 陈方文, 卢双舫, 黄振凯, 等. 松辽盆地古龙凹陷青一段沉积特征及有利勘探区[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2013, 44(5): 1955-1963 [Chen Fangwen, Lu Shuangfang, Huang Zhenkai, *et al.* Sedimentary characteristics and favorable exploration zone of K_1qn^1 in Gulong depression of Songliao Basin [J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2013, 44(5): 1955-1963]
- 14 张世奇, 任延广. 松辽盆地中生代沉积基准面变化研究[J]. *长安大学学报: 地球科学版*, 2003, 25(2): 1-5 [Zhang Shiqi, Ren Yanguang. The study of base level changes of Songliao Basin in Mesozoic [J]. *Journal of Chang'an University: Earth Science Edition*, 2003, 25(2): 1-5]
- 15 张振强, 金成洙, 赵忠华, 等. 松辽盆地地浸砂岩型铀矿勘查及其找矿方向[J]. *地质找矿论丛*, 2006, 21(2): 109-114 [Zhang Zhenqiang, Jin Chengzhu, Zhao Zhonghua, *et al.* Exploring degree and prospecting guide to in-situ leaching sandstone uranium deposit in Songliao Basin [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2006, 21(2): 109-114]
- 16 卢双舫, 许凤鸣, 申家年, 等. 松辽盆地齐家古龙凹陷凝析油气藏成因[J]. *地球科学*, 2007, 32(2): 209-212 [Lu Shuangfang, Xu Fengming, Shen Jianian, *et al.* Origin of condensate oil/gas reservoir: A case study in Qijia-Gulong depression of Songliao Basin [J]. *Earth Science*, 2007, 32(2): 209-212]
- 17 林春明, 冯志强, 张顺, 等. 松辽盆地北部白垩纪超层序特征[J]. *古地理学报*, 2007, 9(6): 619-634 [Lin Chunming, Feng Zhiqiang, Zhang Shun, *et al.* Characteristics of the Cretaceous super sequences in northern Songliao Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(6): 619-634]
- 18 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 Zhaonian, Wang Xiaomin, Chen Shan, *et al.* Structural evolution of Fuyu reservoir in the Chaochang area of Songliao Basin [J]. *Geoscience*, 2008, 22(4): 512-519]
- 19 王海涛. 葡萄花油田南部扶余油层储层影响因素[J]. *大庆石油地质与开发*, 2012, 31(5): 30-33 [Wang Haitao. Influencing factors on Fuyu oil reservoir in South Putaohua oilfield [J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2012, 31(5): 30-33]
- 20 秦刚, 谢锐杰. 长岭前七号地区沉积体系(相)研究[J]. *内蒙古石油化工*, 2007(2): 87-89 [Qin Gang, Xie Ruijie. Study on sediment system of Qian-7 Block in Changling area [J]. *Inner Mongolia Petrochemical*, 2007(2): 87-89]
- 21 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008 [Lu Shuangfang, Zhang Min. *Petroleum Geochemistry* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008]
- 22 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 Shuangfang, Hu Huiting, Liu Haiying, *et al.* Gas source conditions and exploration potential of feep layer in Yingtai Fault depression [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2010, 40(4): 912-920]
- 23 陈方文, 卢双舫, 李吉君, 等. 松辽盆地北部长春岭背斜油源识别及油源区资源评价[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 36(3): 26-31 [Chen Fangwen, Lu Shuangfang, Li Jijun, *et al.* Oil-source identification and resource evaluation of oil-source area of Changchunling anticline in northern Songliao Basin [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2012, 36(3): 26-31]
- 24 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 [Lu Shuangfang. *Kinetics Theory of Hydrocarbon Generation from Organic Matter and its Application* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996]
- 25 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 Shuangfang, Liu Xiaoyan, Fu Xiaotai, *et al.* Chemical kinetics study on the generation mechanism of immature to low-mature oil and its initial application [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 130-135]
- 26 卢双舫, 李占东, 李吉君, 等. 吐哈盆地低熟气评价的化学动力学方法及其应用[J]. *地球化学*, 2009, 38(1): 68-74 [Lu Shuangfang, Li Zhandong, Li Jijun, *et al.* Chemical kinetic method of evaluating low-mature gas and its application in Tuha Basin [J]. *Geochimica*, 2009, 38(1): 68-74]
- 27 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 [Lu Shuangfang, Fu Guang, Wang Pengyan, *et al.* *Quantitative Research on Main Controlling Factors of Gas Accumulation* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002]
- 28 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 Haiyan, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, *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]
- 29 柳广弟, 赵文智, 胡素云, 等. 油气运聚单元石油运聚系数的预测模型[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(5): 53-55 [Liu Guangdi, Zhao Wenzhi, Hu Suyun, *et al.* Prediction models of migration and accumulation coefficient for petroleum migration and accumulation unit

[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(5): 53-55]
30 吕一兵,张涛,吕修祥. 基于BP神经网络的石油运聚系数预测模型[J]. *新疆石油地质*, 2011, 32(6): 653-655 [Lü Yibing, Zhang

Tao, Lü Xiuxiang. Forecast model for oil migration and accumulation coefficient based on BP neural network[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2011, 32(6): 653-655]

Evaluation on Hydrocarbon-generation Amount of Middle-shallow Source Rocks of Qijia-Gulong Depression in Songliao Basin

CHEN Fang-wen LU Shuang-fang Ding Xue

(Institute of Unconventional Hydrocarbon and New Energy Sources, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580)

Abstract: In recent years, the analysis on core samples from the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong Depression of Songliao Basin are getting more and more, it's necessary to re-evaluate the hydrocarbon-generation amount of the middle-shallow source rocks. The geochemical characteristics of core samples from the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong Depression were collected and analyzed. The hydrocarbon generated transformation ratio with depth of the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong Depression was calculated using the chemical kinetics method, which is based on the high temperature thermal simulation of low maturity source rock samples. Then the hydrocarbon-generation amount was evaluated quantitatively. The results show that: the middle-shallow source rocks in Qijia-Gulong Depression of Songliao Basin are extremely rich in organic matter. The organic matter types of them are good. And the thermal evolution stage of them is from immature to mature. The hydrocarbon generation threshold depth of the middle-shallow source rocks is about 1 500 m, and the depth of beginning to quickly generate hydrocarbon is about 1 750 m. The middle-shallow source rocks of the first member of Qingshankou formation (K_1qn^1), the second and third member of Qingshankou formation (K_1qn^{2+3}) and the first member of Nenjiang formation (K_1n^1) are mainly generated oil associated with a small amount of gas. The amounts of oil generated from them are 195.95×10^8 t, 241.79×10^8 t and 134.77×10^8 t. The amounts of gas generated from them are 36.89×10^{11} m³, 17.64×10^{11} m³ and 4.02×10^{11} m³, respectively. The oil and gas resource are $(28.63 \sim 57.25) \times 10^8$ t and $(0.29 \sim 0.59) \times 10^{11}$ m³ in middle-shallow strata of Qijia-Gulong depression in Songliao Basin.

Key words: Songliao Basin; Qijia-Gulong depression; middle-shallow strata; source rock; hydrocarbon-generation amount