

# 松辽盆地北部上白垩统青山口组泥岩特征 及页岩油有利区优选

李士超<sup>1</sup>, 张金友<sup>2</sup>, 公繁浩<sup>1</sup>, 朱恒<sup>1</sup>, 白云凤<sup>2</sup>

LI Shichao<sup>1</sup>, ZHANG Jinyou<sup>2</sup>, GONG Fanhao<sup>1</sup>, ZHU Heng<sup>1</sup>, BAI Yunfeng<sup>2</sup>

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

1. Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;

2. Institute of Exploration and Development of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing 163712, Heilongjiang, China

**摘要:**以松辽盆地北部为研究区域,以上白垩统青山口组一、二段泥岩为研究对象,通过国内外页岩油研究资料收集整理分析、典型井岩心观察、样品测试数据分析等,对研究区青山口组一、二段泥岩的岩性、物性、电性、含油气性、烃源岩、脆性及地应力特征七方面页岩油评价参数进行了研究,结果表明,松辽盆地北部上白垩统青山口组一、二段具有页岩油发育的有利石油地质条件,其中古龙凹陷为页岩油的有利区,具有良好的勘探前景。

**关键词:**松辽盆地北部;上白垩统;青山口组一、二段;页岩油;有利区;鹰滩

**中图分类号:**P534.53;P618.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)04-0654-10

Li S C, Zhang J Y, Gong F H, Zhu H, Bai Y F. The characteristics of mudstones of Upper Cretaceous Qingshankou Formation and favorable area optimization of shale oil in the north of Songliao Basin. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36 (4):654-663

**Abstract:** This study mainly focuses on the north of Songliao Basin with the purpose of investigating mudstone in the first and second member of Upper Cretaceous Qingshankou Formation. Through the collection and analysis of the data available in China and abroad, core description of topical wells and sample test data analysis, the authors studied the lithology, physical property, electric property, oil-gas possibility, hydrocarbon, brittleness and ground stress of mudstone in the first and second member of Qingshankou Formation. The results show that the first and second member of Upper Cretaceous Qingshankou Formation in the north of Songliao Basin has favorable petroleum geological conditions for the development of shale oil, and Gulong sag seems to be a favorable area of shale oil with good exploration prospects.

**Key words:** north of Songliao Basin; Upper Cretaceous; the first and second member of Qingshankou Formation; shale oil; favorable area; Eagle Ford

随着油气资源需求的日益增长和可勘探开发区域的减少,非常规油气的研究逐渐引起国内外学者的重视。近年来,随着页岩油勘探开发技术的发展,页岩油已经成为油气勘探开发重要的新领域。美国是页岩油资源开发较早的国家,目前已在巴肯(Bakken)组、上白垩统鹰滩

(Eagle Ford)组等进行页岩油商业勘探开发,2013年美国的页岩油产量已达 $16077 \times 10^4$ t,占其原油总量的43%<sup>[1]</sup>。松辽盆地北部同样在上白垩统青山口组发育一套厚层泥岩,主体区已被三维地震研究覆盖,面积约 $16075 \text{ km}^2$ ;截至目前,钻遇青山口组的钻井有1330口,见油气显示井68口,试油井31口,获

收稿日期:2016-10-18;修订日期:2017-04-05

资助项目:中国地质调查局项目《朝阳—商都地区中—古生界油气战略选区调查》(编号:121201007000150075)

作者简介:李士超(1985—),男,硕士,工程师,从事油气基础地质调查及页岩油研究工作。E-mail:277983674@qq.com

工业油流井6口,最高日产达3.931t,表明松辽盆地上白垩统青山口组具有较大的页岩油资源潜力,但由于青山口组泥岩长期被作为松辽盆地烃源岩进行研究,对其页岩油方面的研究相对滞后。随着大庆油田剩余可采储量的日益降低,油气勘探开发进入高成本、高难度阶段,页岩油必将成为松辽盆地油气的后备接续领域。本文对松辽盆地北部上白垩统青山口组一、二段泥岩的岩性、物性、电性、含油气性、烃源岩、脆性及地应力7个方面特征进行了研究,提出页岩油的有利分布区,对松辽盆地北部页岩油研究及勘探具有重要的借鉴意义。

## 1 区域地质概况

松辽盆地为一近北东向、北北东向展布的菱形盆地,长750km,宽330~370km,面积 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是中国东部大中型中—新生代具有断拗双重结构的复合沉积盆地。根据拗陷期地层和断裂发育特征,将松辽盆地划分为中央拗陷区、北部倾没区、西部斜坡区、东北隆起区、东南隆起区和西南隆起区6个一级构造单元,32个二级构造单元和130个局部构造(图1)。油气资源主要分布在中央拗陷区的长垣隆起,以及齐家、古龙和三肇凹陷内。

盆地内发育的地层主要为白垩系和新生界,自下而上为下白垩统火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组;上白垩统青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组、明水组;古近系始新统一渐新统依安组,新近系中新统大安组、上新统太康组和第四系,沉积岩最大厚度超过10000m。

松辽盆地具有“下断上拗”的双重结构,其形成和发展经历了热隆火山喷发和张裂、同裂陷、裂后热沉降和大规模构造反转4个发展演化阶段,形成同裂陷层序和拗陷层序2套沉积层序<sup>[4]</sup>。同裂陷层序经历了早白垩世火石岭组的火山喷发、沙河子组和营城组时期的断陷沉积作用、沙河子组末期—营城组末期的构造反转和抬升剥蚀,以及其后的沉陷作用、反转作用的改造。拗陷层序构造

的发育过程经历了两大阶段、4个主要的发展时期,即登娄库组—嫩江组盆地整体沉降(热沉降为主)阶段,嫩江组中晚期—新近纪盆地收缩的反转阶段,包括嫩江末、明水末和早古近纪末3个主要的构造运动时期。反转期的构造运动对拗陷层的形成和盆地内部的油气运移、聚集起到了极为重要的作用。

松辽盆地经历了2次较大的湖相沉积,在青一段和嫩一段沉积时期湖盆进入快速沉降阶段<sup>[5]</sup>,形成两大套半深湖和深湖亚相泥岩。深湖和半深湖亚相位于浪基面以下、水体较深部位,为缺氧还原

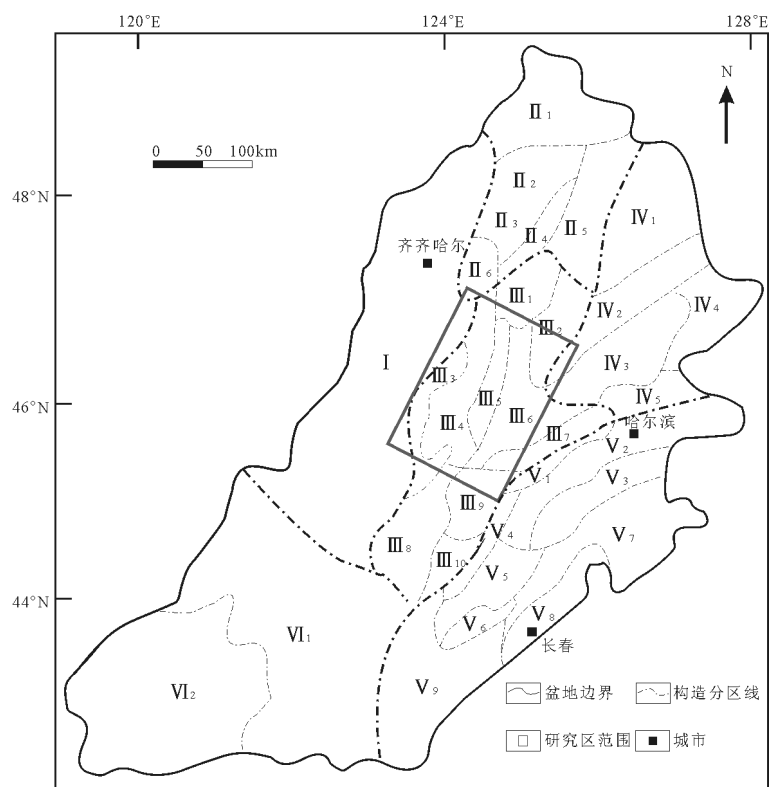


图1 松辽盆地构造分区及研究区范围<sup>[2-3]</sup>

Fig. 1 Tectonic division and limits of the study area in Songliao Basin

I—西部斜坡区; II—北部倾没区; II<sub>1</sub>—嫩江阶地; II<sub>2</sub>—依安凹陷; II<sub>3</sub>—三兴背斜带; II<sub>4</sub>—克山依龙背斜带; II<sub>5</sub>—乾元背斜带; II<sub>6</sub>—乌裕尔凹陷; III—中央拗陷区; III<sub>1</sub>—黑鱼泡凹陷; III<sub>2</sub>—明水阶地; III<sub>3</sub>—龙虎泡—红岗阶地; III<sub>4</sub>—齐家—古龙凹陷; III<sub>5</sub>—大庆长垣; III<sub>6</sub>—三肇凹陷; III<sub>7</sub>—朝阳沟阶地; III<sub>8</sub>—长岭凹陷; III<sub>9</sub>—扶余隆起带; III<sub>10</sub>—双坨子阶地; IV—东北隆起区; IV<sub>1</sub>—海陵隆起带; IV<sub>2</sub>—绥棱背斜带; IV<sub>3</sub>—绥化凹陷; IV<sub>4</sub>—庆安隆起带; IV<sub>5</sub>—呼兰隆起带; V—东南隆起区; V<sub>1</sub>—长春岭背斜带; V<sub>2</sub>—宾县—王府凹陷; V<sub>3</sub>—青山口背斜; V<sub>4</sub>—登楼库背斜; V<sub>5</sub>—钓鱼岛隆起; V<sub>6</sub>—杨大城子背斜; V<sub>7</sub>—梨树—德惠凹陷; V<sub>8</sub>—扶余隆起; V<sub>9</sub>—怀德—梨树凹陷; VI—西南隆起区; VI<sub>1</sub>—伽玛吐隆起; VI<sub>2</sub>—开鲁凹陷

环境<sup>[5]</sup>,有利于沉积有机质保存、聚积与转化<sup>[6-11]</sup>。松辽盆地北部上白垩统青山口组页岩油勘探大致经历了3个阶段:1981年古龙凹陷英12井首获工业油流发现阶段,1988年英18井和哈16井获工业油流加强阶段,1999年古平1水平井部署油流为提产阶段。2006年由中国地质调查局实施的松科1井南孔在青山口组也见良好的油气显示。综上表明,青山口组泥岩具有较好的页岩油勘探前景。

## 2 青山口组一、二段泥岩的七性特征

松辽盆地青山口组自下向上分为青一段和青二、三段<sup>[12]</sup>。青一段在盆地内分布广泛,但在盆地西部边缘分布不全,厚度一般为0~80m,最厚可达130m以上,主要为一套深湖相沉积,在盆地中部、东南部为黑色、灰黑色泥岩夹劣质油页岩,在盆地西部和北部相变为灰黑色、灰绿色泥岩和灰白色砂岩、粉砂岩互层;在南部、西南部变为红色泥岩和砂岩;边缘则变为砂、砾岩;青一段与下伏泉头组和上覆青二、三段主要为整合接触<sup>[13]</sup>。青二、三段在盆地内分布较广,厚度一般为250~550m,在北部克山—林甸一带和西部江桥—白城地区较薄,岩性主要为深灰色、灰色、灰绿色泥岩,少量紫红色泥岩与灰色、灰白色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩互层,夹薄层钙质粉砂岩;青二、三段与下伏青一段

和上覆姚家组主要为整合接触,局部为平行不整合接触<sup>[14]</sup>。暗色泥岩主要分布于青一段和青二段下部,呈现由周边向凹陷内部逐渐增厚的趋势,该套泥岩是本文的主要研究对象。

### 2.1 岩性特征

松辽盆地北部上白垩统青山口组一、二段岩性以泥岩为主,包括黑色泥(页)岩、灰黑色含介形虫泥岩及含粉砂泥岩。泥岩中的夹层有2种岩性类型,一种为砂质岩类,如泥质粉砂岩;一种为钙质岩类,如介形虫层(图2)。岩性组合表现为3种组合特征:泥岩夹砂质、介形虫条带或薄层,分布在古龙西侧;含介形虫泥岩夹薄介形虫层,分布在古龙东侧;纯泥岩、页岩层段,在全区均有分布。

### 2.2 物性特征

在松辽盆地北部齐平1井中选取13个泥岩样品进行物性分析。气体孔隙度为3.5%~5.8%,平均为4.6%,总孔隙度为8.2%~11.1%,平均为10%;渗透率为0.8~3.4×10<sup>-3</sup>mD,平均为2.1×10<sup>-3</sup>mD;原样体积密度为2.44~2.52g/cm<sup>3</sup>,平均为2.48g/cm<sup>3</sup>;干样体积密度为2.38~2.50g/cm<sup>3</sup>,平均为2.43g/cm<sup>3</sup>(表1)。英斜58井青山口组一段泥岩样品数字岩心测试分析表明,泥岩粒度以5~10μm为主,粒度较小;样品孔隙较发育,有机孔、无机孔都有发育;同时发育大量裂隙,裂隙方向大多平行于地层(图3)。大量纳

表1 齐平1井泥岩岩心物性分析数据

Table 1 Physical property analysis data of mudstone core of Qiping 1 well

| 样品编号 | 顶深/m    | 底深/m    | 原样体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 原样颗粒密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 原样充气孔隙度/% | 干燥体密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 干燥颗粒密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 干燥氮孔孔隙度/% | 原样压降渗透率/mD           |
|------|---------|---------|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|-----------|----------------------|
| 1-4  | 1929.20 | 1929.24 | 2.47                         | 2.62                         | 5.8       | 2.42                        | 2.72                         | 11        | 2.4×10 <sup>-3</sup> |
| 1-12 | 1937.18 | 1937.23 | 2.45                         | 2.53                         | 3.4       | 2.38                        | 2.67                         | 11.1      | 2.1×10 <sup>-3</sup> |
| 1-16 | 1940.98 | 1941.03 | 2.49                         | 2.59                         | 3.7       | 2.44                        | 2.7                          | 9.9       | 2.6×10 <sup>-3</sup> |
| 1-20 | 1945.17 | 1945.23 | 2.48                         | 2.61                         | 4.8       | 2.43                        | 2.71                         | 10.4      | 2.2×10 <sup>-3</sup> |
| 1-31 | 1956.66 | 1956.74 | 2.5                          | 2.63                         | 4.8       | 2.47                        | 2.69                         | 8.4       | 0.8×10 <sup>-3</sup> |
| 1-35 | 1959.97 | 1960.03 | 2.51                         | 2.61                         | 4.1       | 2.45                        | 2.73                         | 10.3      | 2.1×10 <sup>-3</sup> |
| 1-39 | 1964.7  | 1964.73 | 2.52                         | 2.66                         | 5.1       | 2.5                         | 2.72                         | 8.2       | 0.9×10 <sup>-3</sup> |
| 1-62 | 1987.67 | 1987.74 | 2.51                         | 2.63                         | 4.5       | 2.47                        | 2.71                         | 9.1       | 1.4×10 <sup>-3</sup> |
| 1-71 | 1996.16 | 1996.24 | 2.44                         | 2.53                         | 3.5       | 2.38                        | 2.66                         | 10.8      | 2.4×10 <sup>-3</sup> |
| 2-3  | 2002.17 | 2002.23 | 2.5                          | 2.6                          | 3.7       | 2.44                        | 2.71                         | 10        | 1.9×10 <sup>-3</sup> |
| 2-7  | 2006.48 | 2006.51 | 2.44                         | 2.58                         | 5.7       | 2.39                        | 2.68                         | 10.9      | 2.9×10 <sup>-3</sup> |
| 2-13 | 2012.48 | 2012.51 | 2.49                         | 2.63                         | 5.2       | 2.46                        | 2.69                         | 8.7       | 2.0×10 <sup>-3</sup> |
| 2-30 | 2028.98 | 2029.02 | 2.44                         | 2.58                         | 5.6       | 2.39                        | 2.69                         | 11        | 3.4×10 <sup>-3</sup> |
| 平均值  |         |         | 2.48                         | 2.6                          | 4.6       | 2.43                        | 2.7                          | 10        | 2.1×10 <sup>-3</sup> |

注:数据来源于大庆油田有限责任公司勘探开发研究院

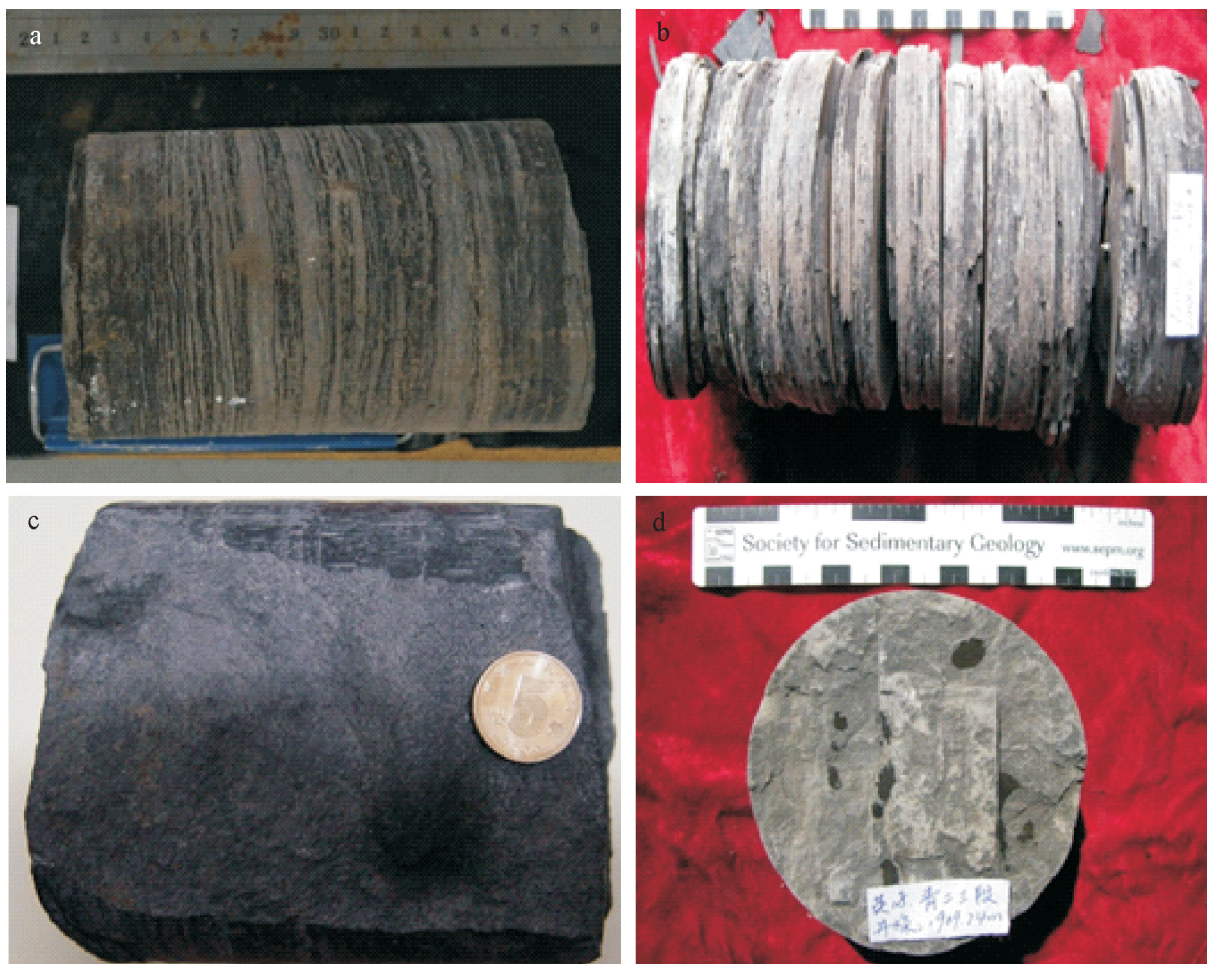


图2 松辽盆地北部青山口组一、二段不同岩性岩心照片

Fig. 2 Core photos of different lithologic characters from the first and second member of Qingshankou Formation in the north of Songliao Basin

a—英斜58井,青二段,泥质粉砂岩;b—古10井,青二段,黑色泥岩,页理缝发育;  
c—哈14井,青一段,黑灰色介形虫;d—英18井,青二段,灰色钙质粉砂岩

米级孔隙及少量微米级孔隙构成重要的油气储集空间,同时微裂缝的存在改善了储层渗透性能。

### 2.3 电性特征

研究区青一、二段含油泥岩段在井径、声波时差、气测录井上具有较明显的电性响应。

井径多具有扩径,井壁易垮;气测录井全烃最大值、比值、气测的组分,以及全烃曲线的峰型等出现与非储层段不同的数值或特征;声波纵波时差值表现出增大或周波跳跃特征(图4)。

### 2.4 含油气性特征

#### (1)含油岩性和气测显示

录井过程中哈14井、英18井、哈16井、松科1井

南孔等多口井在青山口组一、二段岩心样品上见含油显示;钻井气测显示,泥岩段储层气测异常活跃区主要在齐家南-古龙凹陷,长垣、三肇基本无气测异常。

#### (2)泥岩 $S_1$ 特征

松辽盆地北部青山口组一、二段泥岩 $S_1$ (可溶烃含量)值呈现周边低、凹陷内部局部高的特征, $S_1$ 值大于 $2\text{mg/g}$ 主要分布在古龙凹陷、长垣隆起及三肇凹陷。青一段泥岩 $S_1$ 总体介于 $1\sim 4\text{mg/g}$ 之间,其中古龙凹陷青一段泥岩 $S_1 > 2\text{mg/g}$ 的面积约 $1000\text{km}^2$ ;长垣隆起青一段泥岩 $S_1 > 2\text{mg/g}$ 的面积约 $820\text{km}^2$ ;三肇凹陷青一段泥岩 $S_1 > 2\text{mg/g}$ 的面积约 $1250\text{km}^2$ 。青二段泥岩 $S_1$ 总体介于 $0.4\sim 1.6\text{mg/g}$ 之

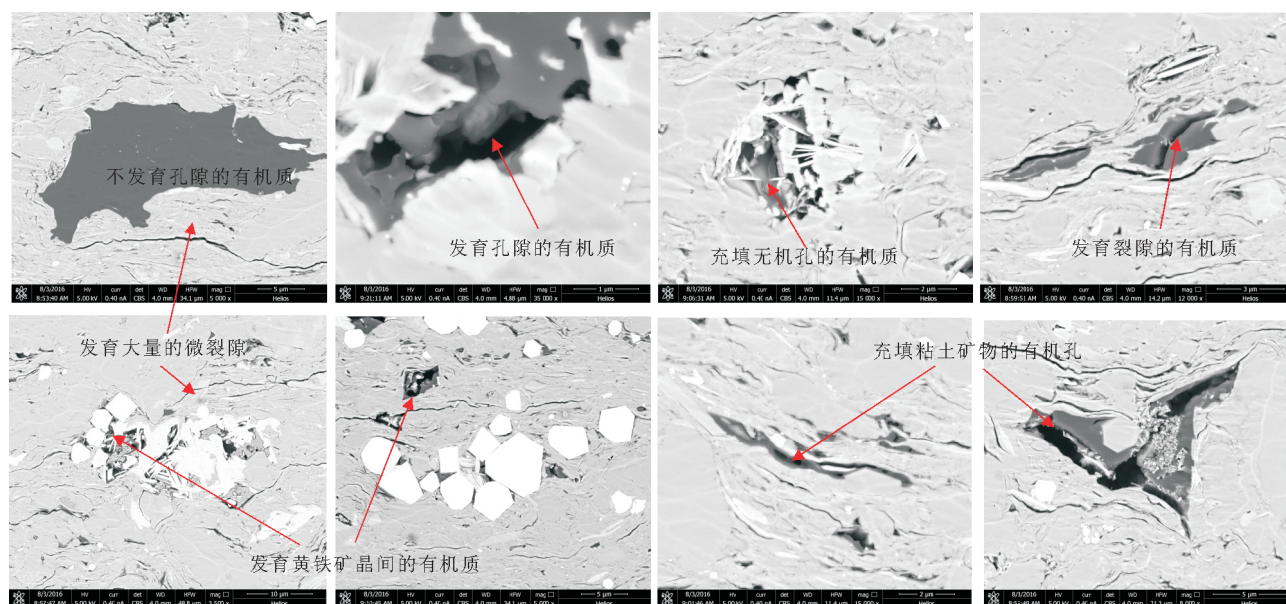


图3 松辽盆地北部英斜58井青山口组一段泥岩孔隙和裂缝照片

Fig. 3 Pore and fracture photos of mudstone in the first member of Qingshankou Formation from Yingxie 58 well located in the north of Songliao Basin

间,其中古龙凹陷青二段泥岩 $S_1 > 1\text{mg/g}$ 的面积约 $850\text{km}^2$ ;长垣隆起青二段泥岩 $S_1 > 1\text{mg/g}$ 的面积约 $290\text{km}^2$ ;三肇凹陷青二段泥岩 $S_1 > 1\text{mg/g}$ 的面积约 $110\text{km}^2$ 。

### (3) 泥岩TI特征

松辽盆地北部青山口组一、二段泥岩TI( $S_1 \times 100/\text{TOC}$ )值呈现由周边向凹陷内部逐渐增大的趋势,  $\text{TI} > 80\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 的主要分布在古龙凹陷、长垣隆起及三肇凹陷。青一段泥岩TI总体介于 $40 \sim 120\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 之间,其中古龙凹陷青一段泥岩TI大于 $80\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 的面积约 $2300\text{km}^2$ ;长垣隆起青一段泥岩TI  $> 80\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 的面积约 $550\text{km}^2$ ;三肇凹陷青一段泥岩TI  $> 80\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 的面积约 $800\text{km}^2$ 。青二段泥岩TI总体介于 $20 \sim 90\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 之间,大于 $80 \text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 的主要分布在古龙凹陷西北部,其TI介于 $50 \sim 90\text{mg} \cdot \text{HC}/(\text{g} \cdot \text{C}^{-1})$ 之间,大于 $80\text{mg/g}$ 的面积约 $115\text{km}^2$ 。

## 2.5 烃源岩特征

### (1) 泥岩厚度

齐家凹陷面积为 $2225\text{km}^2$ ,青一段厚度为 $35 \sim 105\text{m}$ ,青二段厚度为 $50 \sim 200\text{m}$ ;古龙凹陷面积为 $2843\text{km}^2$ ,青一段厚度为 $40 \sim 85\text{m}$ ,青二段厚度为

$110 \sim 230\text{m}$ ;三肇凹陷面积为 $5520\text{km}^2$ ,青一段厚度为 $40 \sim 75\text{m}$ ,青二段厚度为 $70 \sim 200\text{m}$ (表2)。

### (2) 有机质丰度(TOC)

齐家凹陷青一段有机质丰度以 $1.5\% \sim 3.0\%$ 为主,  $\text{TOC} > 2.0\%$ 的面积为 $1788.4\text{km}^2$ ;青二段有机质丰度以 $1.0\% \sim 1.6\%$ 为主,  $\text{TOC}$ 无大于 $2.0\%$ 的区域。古龙凹陷青一段有机质丰度以 $1.5\% \sim 2.4\%$ 为主,  $\text{TOC} > 2.0\%$ 的面积为 $1322.2\text{km}^2$ ;青二段有机质丰度以 $1.0\% \sim 2.3\%$ 为主,  $\text{TOC} > 2.0\%$ 的面积为 $147.5\text{km}^2$ 。三肇凹陷青一段有机质丰度以 $2.0\% \sim 3.5\%$ 为主,  $\text{TOC} > 2.0\%$ 的面积为 $5462\text{km}^2$ ;青二段有机质丰度以 $1.0\% \sim 2.6\%$ 为主,  $\text{TOC} > 2.0\%$ 的面积为 $793.5\text{km}^2$ (表2)。

### (3) 有机质成熟度( $R_o$ )

齐家凹陷青一段 $R_o$ 为 $0.6\% \sim 2.0\%$ ,  $R_o > 1.0\%$ 的面积为 $864\text{km}^2$ ;青二段 $R_o$ 为 $0.6\% \sim 1.1\%$ ,  $R_o > 1.0\%$ 的面积为 $91.49\text{km}^2$ 。古龙凹陷青一段 $R_o$ 为 $0.75\% \sim 2.0\%$ ,  $R_o > 1.0\%$ 的面积为 $4107\text{km}^2$ ;青二段 $R_o$ 为 $0.6\% \sim 1.4\%$ ,  $R_o > 1.0\%$ 的面积为 $1492.27\text{km}^2$ 。三肇凹陷青一段 $R_o$ 为 $0.6\% \sim 1.2\%$ ,  $R_o > 1.0\%$ 的面积为 $514\text{km}^2$ ;青二段 $R_o$ 为 $0.6\% \sim 0.8\%$ ,无 $R_o > 1.0\%$ 的区域(表2)。

### (4) 地层压力

松辽盆地北部青山口组地层压力系数呈现由

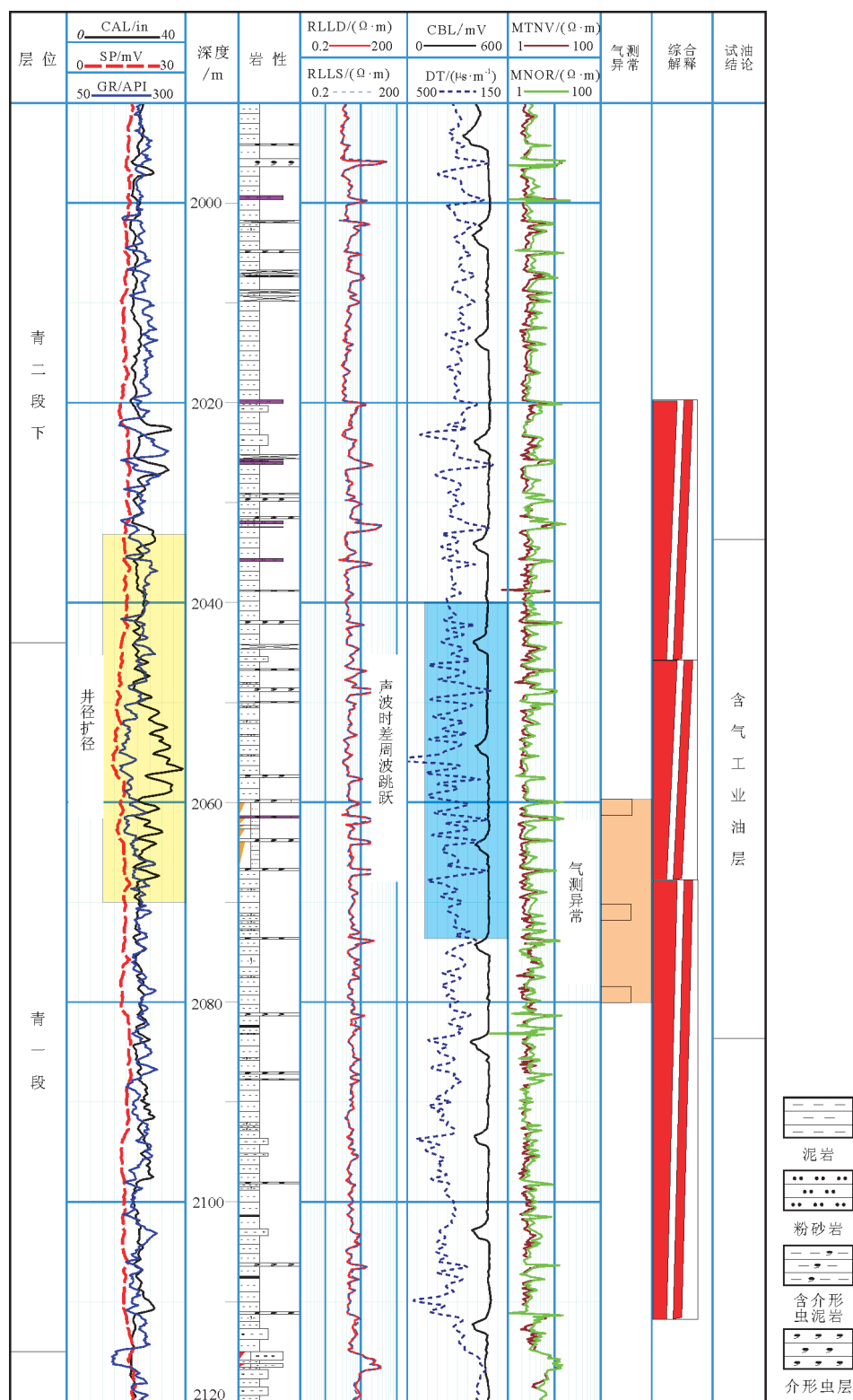


图4 松辽盆地北部青山口组一、二段含油井段电性特征

Fig. 4 Electrical characteristics of the petroliferous first and second member of Qingshankou Formation in the north of Songliao Basin

CAL—井径;SP—自然电位;GR—自然伽马;RLLD—深侧向电阻率;RLLS—浅侧向电阻率;  
CBL—声波幅度;DT—声波时差;MTNV—微梯度;MNOR—微电位

表2 松辽盆地北部青山口组一、二段烃源岩特征数据  
Table 2 The characteristics of hydrocarbon in the first and second member  
of Qingshankou Formation in the north of Songliao Basin

| 凹陷名称 | 层段  | 泥岩厚度<br>/m | 有机质丰度   |                             | 有机质成熟度            |                                        |
|------|-----|------------|---------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------------|
|      |     |            | TOC/%   | TOC > 2%的面积/km <sup>2</sup> | R <sub>o</sub> /% | R <sub>o</sub> > 1%的面积/km <sup>2</sup> |
| 齐家凹陷 | 青一段 | 35~105     | 1.5~3.0 | 1788.4                      | 0.6~2.0           | 864                                    |
|      | 青二段 | 50~200     | 1.0~1.6 | 0                           | 0.6~1.1           | 91.49                                  |
| 古龙凹陷 | 青一段 | 40~85      | 1.5~2.4 | 1322.2                      | 0.75~2.0          | 4107                                   |
|      | 青二段 | 110~230    | 1.0~2.3 | 147.5                       | 0.6~1.4           | 1492.27                                |
| 三肇凹陷 | 青一段 | 40~75      | 2.0~3.5 | 5462                        | 0.6~1.2           | 514                                    |
|      | 青二段 | 70~200     | 1.0~2.6 | 793.5                       | 0.6~0.8           | 0                                      |

周边向凹陷内部逐渐增大的趋势。青一段地层压力系数总体介于1.0~1.6之间,青二段地层压力系数总体介于1.0~1.5之间,大于1.2的区域主要分布在古龙凹陷。

## 2.6 脆性特征

松辽盆地北部地区青一段泥岩矿物成分以石英、长石、粘土矿物为主,钙质含量较低,平均含量为石英37.7%、粘土37.5%、长石17.9%、碳酸盐3.1%;主要脆性矿物为石英和碳酸盐,含量总体在33%~51%之间,齐家-古龙凹陷内的含量达到42%以上,其中古龙地区的石英和碳酸盐含量分布在42%~51%之间,面积达3311km<sup>2</sup>,含量超过45%的区域达到785km<sup>2</sup>;在齐家凹陷的南部和北部地区,石英和碳酸盐的含量在42%~45%之间,面积分别为615km<sup>2</sup>和169km<sup>2</sup>。

## 2.7 地应力特征

松辽盆地北部齐家、古龙及三肇凹陷最大主应力方向均为近东西向,整体与区域东西向挤压应力场方向一致。青一段泥岩和砂泥互层的最大地应力方向在55°~130°之间,平均为97°;泥岩最大应力差为2.2~7.5MPa,砂泥互层最大应力差为1.3~2.2MPa,整体压差较小。

## 3 青山口组一、二段页岩油有利区优选

影响页岩油富集的因素非常多,但主要与泥页岩发育程度、源岩有机质丰度、有机质成熟度、泥页岩内部储集空间发育程度等密切相关。页岩油一般发育在大面积厚层泥页岩中,形成页岩油的源岩泥页岩厚度至少为30m<sup>[15]</sup>。据资料统计,要形成具备工业可采价值的页岩油,烃源岩TOC至少大

于2.0%。一般来说,形成页岩油的源岩成熟度不算太高,其R<sub>o</sub>值为0.5%~1.1%,处于低成熟-成熟阶段<sup>[16~19]</sup>。同时泥页岩中需发育孔隙和裂缝,这些孔缝一般是微纳米级的,且连通性较好,可以形成良好的油气渗流通道和储集空间,供页岩油富集<sup>[20~22]</sup>。

页岩油作为一种非常规油气资源,其聚集成藏不受常规意义圈闭控制,因此对其进行评价研究不能按照常规油气评价标准进行。根据前述青山口组一、二段泥岩的7个地质特征,考虑页岩油形成的影响因素,同时结合前人的页岩油有利区优选标准,提出了松辽盆地北部页岩油有利区优选的参考标准(表3)。

松辽盆地北部上白垩统青山口组一、二段泥岩夹砂条或介形虫层有利岩性组合主要分布在古龙地区,其中古龙西侧发育泥岩夹砂质、介形虫条带或薄层;古龙东侧发育含介形虫泥岩夹薄层介形虫层。井径扩径、气测异常、声波跳跃、岩心样品含油显示的钻井一般集中在古龙地区。泥岩S<sub>1</sub>>2.0mg/g、TI>80mg·HC/(g·C<sup>-1</sup>)、TOC>2.0%、R<sub>o</sub>>1.0%、压力系数大于1.2、脆性矿物含量大于42%的区域也主要分布在古龙地区。综合以上页岩油优选参数分析,古龙地区具有泥岩品质好、成熟度高、具异常高压、气测异常活跃、脆性较大等有利因素,是页岩油勘探最有利的地区(表3;图5)。

## 4 讨 论

美国上白垩统鹰滩(Eagle Ford)页岩是美国页岩油气的主要产层<sup>[23]</sup>。据EIA<sup>[26]</sup>公布的数据显示,鹰滩页岩油藏的潜在资源量达1060×10<sup>8</sup>桶,技术可采资源量达63×10<sup>8</sup>桶,剩余可采和未开发页岩

表3 松辽盆地北部页岩油有利区优选参考  
标准及优选结果

Table 3 The standard and optimization result of favorable  
area for shale oil in the north of Songliao Basin

| 主要参数        |        | 参考标准                                                      | 有利区      |
|-------------|--------|-----------------------------------------------------------|----------|
|             | 岩性     | 泥岩夹砂条或介形虫层                                                | 古龙       |
|             | 电性     | 扩径、声波周波跳跃                                                 | 古龙       |
| 含<br>油<br>性 | 气测     | 异常活跃                                                      | 齐家、古龙    |
|             | $S_i$  | $>2.0\text{mg/g}$                                         | 古龙、长垣、三肇 |
|             | $TI$   | $>80\text{mg}\cdot\text{HC}/(\text{g}\cdot\text{C}^{-1})$ | 古龙、长垣、三肇 |
| 烃<br>源<br>岩 | 泥页岩厚度  | $>30\text{m}$                                             | 齐家、古龙、三肇 |
|             | TOC    | $>2.0\%$                                                  | 齐家、古龙、三肇 |
|             | $R_o$  | $>1.0\%$                                                  | 齐家、古龙、三肇 |
|             | 地层压力系数 | $>1.2$                                                    | 古龙       |
| 脆性特征        |        | $>42\%$                                                   | 齐家、古龙    |
| 地应力         |        | 压差较小                                                      | 齐家、古龙、三肇 |

岩油资源量达  $131\times 10^8$  桶,其勘探潜力巨大。

松辽盆地北部古龙凹陷上白垩统青山口组一、二段为一套半深湖-深湖沉积,鹰滩组页岩为一套半封闭的浅海,虽然两者沉积环境不同,但在岩性、孔隙度、渗透率、有机质丰度、有机质成熟度等地质特征上,均具有相似性。前者埋深一般在 1800~2500m 之间,稍浅于后者(1500~3900m)。岩性上两者相似,古龙凹陷青山口组一、二段泥岩主要岩性为泥岩夹砂质、介形虫条带或薄层及含介形虫泥岩夹薄介形虫层;鹰滩页岩主要岩性为纹层状灰黑色灰岩、泥质灰岩,夹灰白色的泥质灰岩,页理发育。古龙凹陷青山口组一、二段泥岩厚度为 130~300m,大于鹰滩页岩厚度(42~122m)。孔隙度和渗透率比较接近,美国鹰滩页岩和古龙凹陷青山口组泥岩孔隙度分别为 8.2%~11.1%、3.4%~14.6%,渗透率分别为  $0.8\times 10^{-3}\sim 3.4\times 10^{-3}\text{mD}$ 、 $0.3\times 10^{-3}\sim 3.0\times 10^{-3}\text{mD}$ (表 4)。古龙凹陷青山口组泥岩的有机质丰度(TOC)为 1%~2.4%,稍小于鹰滩页岩的有机质丰度(2%~8%);二者的有机质成熟度( $R_o$ )相近,分别为 0.6%~2.0% 和为 0.88%~1.10%。脆性矿物含量上,古

龙凹陷青山口组泥岩为 42%~51%,而鹰滩页岩脆性矿物含量较大,达 80%<sup>[24-25]</sup>(表 4)。

综上所述,与已获得页岩油气商业开发的鹰滩页岩相比,松辽盆地北部古龙凹陷上白垩统青山口组一、二段泥岩具有相似的地质特征(表 4),因此古龙凹陷青山口组一、二段具有良好的页岩油勘探前景。

## 5 结 论

(1)总结了松辽盆地北部上白垩统青山口组一、二段泥岩七性特征。其岩性以泥岩为主,包括黑色泥(页)岩、灰黑色含介形虫泥岩及含粉砂泥岩,孔隙度为 8.2%~11.1%,渗透率为  $0.8\sim 3.4\times 10^{-3}\text{mD}$ , $S_i$  总体为  $0.4\sim 4\text{mg/g}$ , $TI$  为 20~120 $\text{mg}\cdot\text{HC}/(\text{g}\cdot\text{C}^{-1})$ ,有机质丰度为 1.0%~3.5%,有机质成熟度为 0.6%~2.0%,地层压力系数为 1.0~1.6,脆性矿物含量为 33%~51%。

(2)对松辽盆地北部上白垩统青山口组一、二段的岩性、物性、电性、含油气性、烃源岩、脆性及地应力特征进行了研究,提出松辽盆地北部页岩油有利区优选参考标准,即  $S_i>2.0\text{mg/g}$ 、 $TI>80\text{mg}\cdot\text{HC}/(\text{g}\cdot\text{C}^{-1})$ 、 $\text{TOC}>2.0\%$ 、 $R_o>1.0\%$ 、压力系数大于 1.2、脆性矿物含量大于 42%,并优选出古龙凹陷为松辽盆地北部页岩油发育及分布的有利区。

(3)通过对古龙凹陷青山口组一、二段页岩与美国鹰滩(Eagle Ford)页岩特征对比分析,两者岩

表4 古龙凹陷青山口组页岩油藏与美国鹰滩页岩油气藏特征对比  
Table 4 A comparison of oil and gas reservoir characteristics between  
shale oil in Qingshankou Formation of Guolong depression and  
that in Eagle Ford of the USA

| 参 数      | 美国鹰滩(Eagle Ford)<br>页岩油气藏              | 古龙凹陷青山<br>口组页岩油藏                       | 对比结论    |    |
|----------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------|----|
| 沉积相      | 半封闭的浅海                                 | 半深湖-深湖                                 | 不同      |    |
| 埋深/m     | 1500~3900                              | 1800~2500                              | 稍浅      |    |
| 岩性       | 泥灰岩与钙质<br>页岩薄互层                        | 泥岩夹砂质、介形<br>虫条带或薄层                     | 相似      |    |
| 厚度/m     | 42~122                                 | 130~300                                | 较大      |    |
| 孔隙度/%    | 3.4~14.6                               | 8.2~11.1                               | 相近      |    |
| 渗透率/mD   | $0.3\times10^{-3}\sim3.0\times10^{-3}$ | $0.8\times10^{-3}\sim3.4\times10^{-3}$ | 相近      |    |
| 烃源岩      | TOC/%                                  | 2~8                                    | 较小      |    |
|          | $R_o$ /%                               | 0.88~1.10                              | 0.6~2.0 | 相近 |
| 脆性矿物含量/% |                                        | 80                                     | 42~51   | 较小 |

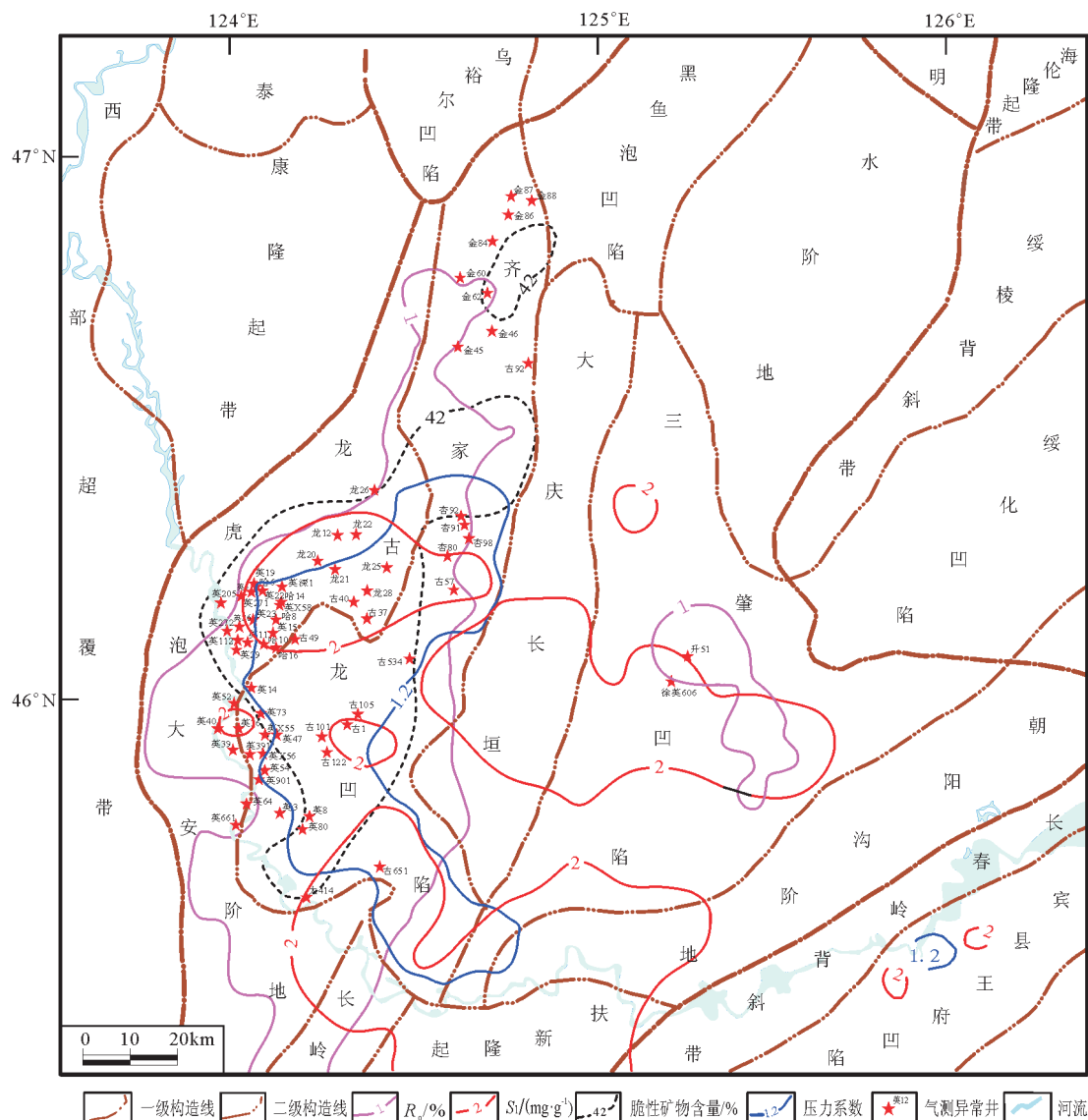


图5 松辽盆地北上白垩统青山口组一段有利区综合评价图

Fig. 5 Comprehensive evaluation of the favorable area in the first member of Upper Cretaceous Qingshankou Formation in the north of Songliao Basin

性、孔隙度、渗透率、有机质丰度、有机质成熟度等地质特征均具有相似性,美国鹰滩页岩油气藏资源量巨大,表明古龙凹陷具有良好的页岩油勘探前景。

**致谢:**中国地质调查局沈阳地质调查中心杨建国教授级高工、成都地质调查中心付修根研究员在论文写作过程中给予了指导,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示诚挚的感谢。

#### 参考文献

[1]陈洋,王敏,严永新,等.陆相页岩油勘探[M].北京:石油工业出

版社,2015.

[2]舒树良,慕玉福,王伯长.松辽盆地含油气地层及其构造特征[J].地层学杂志,2003,23(4):340-347.

[3]张静平,唐书恒,吕建伟,等.松辽盆地青山口组一段油页岩成矿条件及有利目标区分析[J].地学前缘,2012,19(1):156-162.

[4]高瑞祺,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,1997.

[5]辛仁臣,蔡希源,王英民.松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式[J].沉积学报,2004,22(3):387-391.

[6]赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2001.

[7]邹才能等.非常规油气地质[M].北京:地质出版社,2013.

[8]邹才能,杨智,崔景伟,等.页岩油形成机制、地质特征及发展对

- 策[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(1): 14–26.
- [9]邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气油气概念、特征、潜力及技术——兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(4): 385–397.
- [10]姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [11]张爱云, 武大茂, 郭丽娜, 等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [12]翟光明, 王志武. 中国石油地质志(卷2)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [13]高有峰, 王璞珺, 程日辉, 等. 松科1井南孔白垩系青山口组一段沉积序列精细描述: 岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 314–323.
- [14]王璞珺, 高有峰, 程日辉, 等. 松科1井南孔白垩系青山口组二、三段沉积序列精细描述: 岩石地层、沉积相与旋回地层[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 288–313.
- [15]刘成林, 李冰, 吴林强, 等. 松辽盆地上白垩统页岩油地质条件评价[M]. 北京: 地质出版社, 2016: 200–203.
- [16]张善文, 王永诗, 张林晔, 等. 济阳坳陷渤南洼陷页岩油气形成条件研究[J]. 中国工程科学, 2012, 14(4): 49–55.
- [17]陈祥, 王敏, 严永新, 等. 泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 568–577.
- [18]梁世君, 黄志龙, 柳波, 等. 马朗凹陷芦草沟组页岩油形成机理与富集条件[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 588–594.
- [19]姜在兴, 张文昭, 梁超, 等. 页岩油储层基本特征及评价要素[J]. 石油学报, 2014, 35(1): 184–195.
- [20]王丽静. 松辽盆地地下白垩统青山口组油气成藏与分布特征研究[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(9): 8–14.
- [21]董清源, 刘小平, 李洪香, 等. 黄骅坳陷孔南地区孔二段页岩油藏形成条件分析[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(1): 189–198.
- [22]吴世强, 唐小山, 杜小娟, 等. 江汉盆地潜江凹陷陆相页岩油成藏特征[J]. 江汉石油科技, 2012, 22(4): 1–4.
- [23]Lucas W B, Larkin S D, Lattibeaudiere M G. Improving production in the Eagle Ford Shale with fracture modeling, increased conductivity and optimized stage and cluster spacing along the horizontal wellbore[C]//Tight Gas Completions Conference: San Antonio, Texas, USA, 2010.
- [24]秦长文, 秦璇. 美国鹰滩和尼奥泊拉拉页岩油富集主控因素[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4): 34–37.
- [25]Mullen J, Lowry J C, Nwabuoku K C. Lessons learned developing the Eagle Ford Shale[C]//Tight Gas Completions Conference: San Antonio, Texas, USA, 2010.
- [26]EIA U.S. Technically recoverable shale oil and shale gas resources: An assessment of 137 shale formations in 41 countries outside the United States[M]. Washington DC: US Department of Energy/EIA, 2013.