

文章编号: 0253-2697(2023)12-2104-18 DOI:10.7623/syxb202312007

# 松辽盆地南部油气勘探新领域、新类型及资源潜力

沈华 杨亮 韩昊天 王颖 邢济麟 薛松 刘红超

(中国石油吉林油田公司 吉林松原 138000)

**摘要:**松辽盆地南部在经历油气普查阶段、构造与岩性油气藏勘探开发阶段后,现已全面进入非常规油气的勘探开发阶段。在进一步挖掘现有油气资源开发潜力的同时,寻找新领域、新类型的油气资源成为支撑油田公司长远发展的关键。综合优选了扶杨油层致密油藏、长岭页岩油、基岩气藏、煤层气藏和裂缝型油藏5个已获得勘探开发突破或具有勘探开发潜力的新领域,对其典型地质特征及资源潜力展开分析,明确了下一步的攻关方向。5种油气资源均具有较大的勘探开发潜力,但研究程度、实践阶段和攻关方向各有不同。扶杨油层致密油的资源量为 $10 \times 10^8$  t,2014年以来累计探明储量为 $1.28 \times 10^8$  t,部分区带已经实现效益开发,处于拓展勘探开发阶段,是近期重点攻关的领域;优选让字井、新北一庙西、余字井、孤店、大情字井5个致密油“甜点区”,持续推进一体化增储建产。长岭页岩油“甜点”的资源量为 $16.8 \times 10^8$  t,目前已获得工业突破,处于先导试验攻关阶段;优选余字井、塔虎城2个“甜点区”,青山口组Q1—Q3层和Q9层上、下2套“甜点层段”,重点加快配套技术攻关,尽快实现商业突破。其余3种类型的油气资源均处于探索阶段,需要加强勘探理论认知,推进其资源潜力评价,优选有利区带,进一步揭示其勘探开发前景。

**关键词:**松辽盆地南部;致密油;页岩油;基岩气藏;煤层气;裂缝性油藏

中图分类号:TE132.1

文献标识码:A

## New fields, new types and resource potentials of oil-gas exploration in southern Songliao Basin

Shen Hua Yang Liang Han Haotian Wang Ying Xing Jilin Xue Song Liu Hongchao

(PetroChina Jilin Oilfield Company, Jilin Songyuan 138000, China)

**Abstract:** After experiencing hydrocarbon survey, tectonic and lithological reservoir exploration and development, the southern Songliao Basin has entered the stage of unconventional hydrocarbon exploration and development. Besides further exploring the development potential of available oil-gas resources, to seek the new fields and new types of oil-gas resources has become crucial for supporting the long-term growth of oilfield companies. By comprehensively evaluation, this study selects five new fields with breakthroughs or potentials in exploration and development, including the tight oil of Fuyang reservoir, shale oil of Changling sag, basement gas reservoir, coalbed methane reservoir, and fractured oil reservoir. Their typical geological characteristics and resource potentials are analyzed, and the next breakthrough direction is pointed out. These five types of oil-gas resources have substantial exploration and development potential, and there are differences in the levels of geological study, practice stages, and breakthrough directions. The resources of tight oil in Fuyang reservoir amount to  $10 \times 10^8$  t, with the cumulative proven reserves of  $1.28 \times 10^8$  t since 2014, and some plays have achieved cost-effective development and are in the stage of expanding exploration and development, which are the key research field. Moreover, the study selects five sweet spots in tight oil reservoirs, including Rangzijing, Xinbei-Miaoxi, Yuzijing, Gudian, and Daqingzijing, aiming to continuously promote the integrated strategy of increasing reserves and production. The resources of shale oil sweet spots in Changling sag amount to  $16.8 \times 10^8$  t, achieving industrial breakthroughs and currently in the breakthrough stage of pilot test. This study mainly focuses on two sweet spots, i. e., Yuzijing and Tahucheng, and two sets of sweet spot intervals, i. e., the upper interval (Q1-Q3 layers) and the lower interval (Q9 layer) of Qingshankou Formation, and accelerating the technological breakthrough in supporting techniques, so as to achieve commercial breakthroughs as soon as possible. The other three types of oil-gas resources are all in the exploration stage, for which it is necessary to strengthen the understanding of exploration theory, promote the evaluation of resource potential, optimize favorable plays, and further reveal the exploration and development prospects.

**Key words:** southern Songliao Basin; tight oil; shale oil; basement gas reservoir; coalbed methane; fractured reservoir

**引用:**沈华,杨亮,韩昊天,王颖,邢济麟,薛松,刘红超.松辽盆地南部油气勘探新领域、新类型及资源潜力[J].石油学报,2023,44(12):2104-2121.

**Cite:** SHEN Hua, YANG Liang, HAN Haotian, WANG Ying, XING Jilin, XUE Song, LIU Hongchao. New fields, new types and resource potentials of oil-gas exploration in southern Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(12): 2104-2121.

**基金项目:**中国石油天然气股份有限公司科技重大专项(2021DJ0205, 2021DJ1801)资助。

**第一作者:**沈华,男,1970年10月生,2005年获中国地质大学(北京)博士学位,现为中国石油吉林油田公司总经理、教授级高级工程师,主要从事石油与天然气地质综合研究和勘探开发管理工作。Email:ktb\_shenhua@petrochina.com.cn

**通信作者:**杨亮,男,1979年11月生,2005年获吉林大学硕士学位,现为中国石油吉林油田公司勘探开发研究院副院长、高级工程师,主要从事含油气盆地地质综合研究与部署工作。Email:yang-liang@petrochina.com.cn

松辽盆地南部是中国石油吉林油田公司油气勘探开发的主战场,其油气勘探开发历经 60 余年,已累计提交探明石油地质储量超过  $15 \times 10^8$  t、探明天然气地质储量超过  $1500 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,累计发现 21 个油气田,为中国东部地区的油气资源开发作出了重要贡献。在历经盆地油气普查阶段<sup>[1-2]</sup>、构造油气藏勘探开发阶段<sup>[1,3]</sup>和岩性油气藏勘探开发阶段<sup>[4-9]</sup>,目前松辽盆地南部已全面进入到非常规油气勘探开发阶段<sup>[10-12]</sup>。随着勘探程度的不断深入,油田公司发现规模效益储量的难度越来越大,寻找新领域、新类型的油气资源成为支撑油田公司长远发展的关键。

笔者在系统梳理松辽盆地南部油气资源分布特征的基础上,基于地质特征、成藏规律、资源潜力等方面研究,提出扶杨油层致密油藏、长岭页岩油、基岩气藏、煤层气藏和裂缝性油藏 5 个勘探新领域,其油气资源潜力大,可作为松辽盆地南部“十四五”(2021—2025 年)规划和“十五五”(2026—2030 年)规划的重要油气勘探目标,并指明了攻关方向。

## 1 地质概况

松辽盆地为一个大型中生代—新生代具有断-坳双重结构的复合型沉积盆地,分为中央坳陷区、西部斜坡区、北部倾没区、东北隆起区、东南隆起区和西南隆起区 6 个一级构造单元<sup>[2,5,13-14]</sup>。松辽盆地南部主要位于吉林省境内,主要包括西部斜坡区、中央坳陷区和东南隆起区 3 个一级构造单元[图 1(a)],断陷期发育英台、长岭、梨树、德惠和王府等多个断陷,断陷之间以凸起过渡,形成凹凸相间的构造格局。断陷期地层包括下白垩统火石岭组、沙河子组 and 营城组,坳陷期地层包括下白垩统登娄库组和上白垩统泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组[图 1(b)]。在继承古构造基础上,坳陷期地层以平稳沉降为主,但在嫩江组、明水组沉积末期,由于受挤压应力作用影响,整体被反转抬升,形成了一系列反转构造。

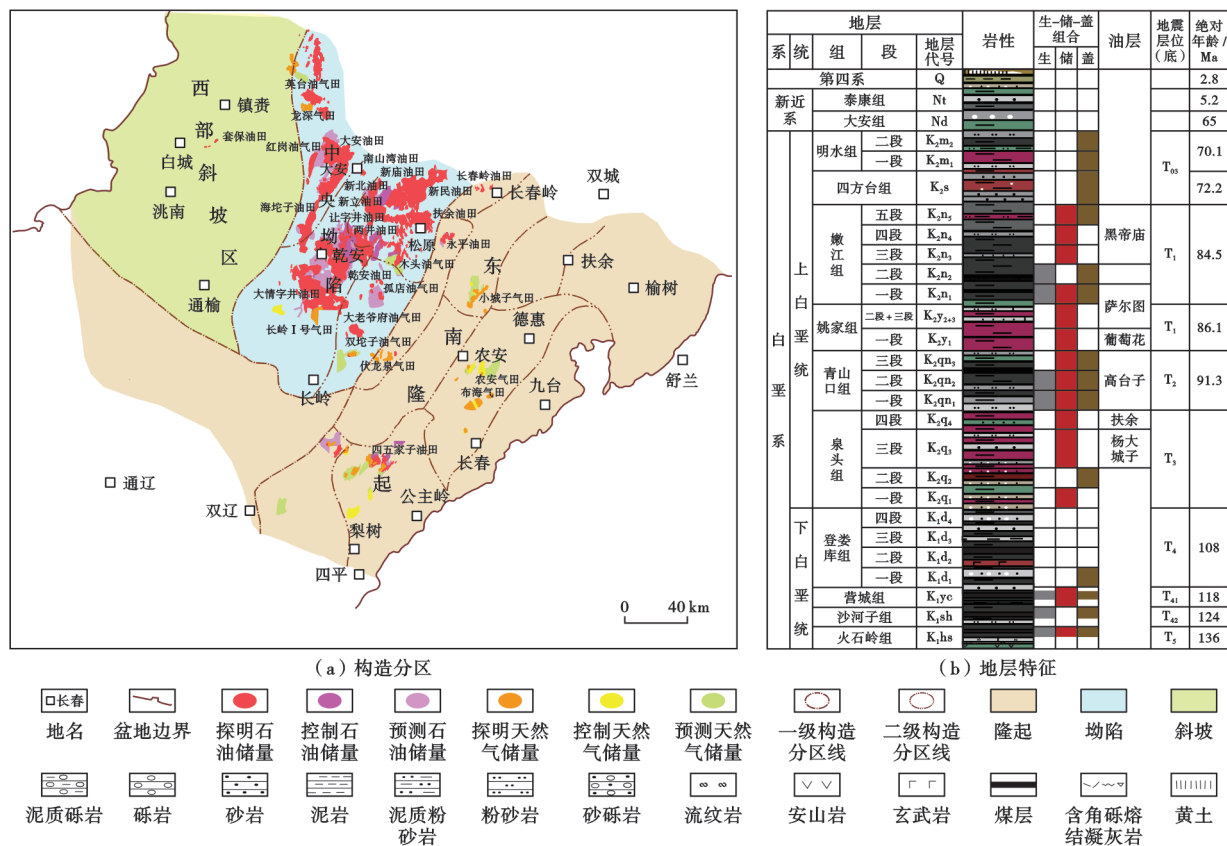


图 1 松辽盆地南部构造分区与综合地层特征

Fig. 1 Structural division and comprehensive stratigraphic characteristics of southern Songliao Basin

## 2 松辽盆地南部的油气勘探开发历程

松辽盆地南部的油气勘探始于 20 世纪 50 年代中期,主要历经了 4 个油气勘探开发阶段。

### 2.1 油气普查勘探阶段(1955—1970 年)

基于相关地质调查与重力-磁法-电法、地震、钻井等资料,油田公司对松辽盆地南部的石油地质条件取得了基本认识,探明了扶余、新立、黑帝庙、红岗和大安

5个工业油气流构造,并发现了扶余油田,指出中央拗陷区为油气有利勘探区,为后续勘探开发打下了良好的基础。

## 2.2 构造油气藏勘探开发阶段(1971—1990年)

该阶段以“构造控藏”理论为指导,油田公司进一步加强了地震勘探工作,并以此为基础开展了盆地构造的精细解释与研究。主要针对中央拗陷区二级构造单元进行钻探,先后发现了红岗、英台和乾安等7个油田,新增石油探明储量超过 $7 \times 10^8$  t,奠定了中国石油吉林油田公司发展的基础。

## 2.3 岩性油气藏勘探开发阶段(1991—2004年)

这一时期,油田公司的勘探目标开始向寻找隐蔽型复杂油气藏转变,进一步深化盆地内各层系的油气成藏机制与富集规律,并形成了“三角洲前缘相带控油”理论<sup>[15]</sup>,明确了岩性油气藏富集区带。同时,通过攻关三维地震技术和压裂提产技术,有效解决了一些制约岩性油气藏开发的“瓶颈”问题。该阶段共发现油气田15个,新增石油探明储量 $7.5 \times 10^8$  t,实现了持续性的油气储量高峰期。

## 2.4 油气并举的非常规勘探开发阶段(2005年至今)

该阶段油田公司的油气勘探方向由以中—浅层油气资源为主转变为深、浅层油气资源兼顾,由以常规石油为主转变为油气并举、探索非常规油气资源。随着勘探思路的转变,中国石油吉林油田公司迎来了油气储量和产量的又一次增长。

### 2.4.1 深层天然气勘探获得战略性突破

通过不断深化天然气成藏理论,油田公司逐渐探明了深层断陷气藏的富集规律,以“近源火山岩机构控藏”理论为指导,2005年部署的CS1井获得了高产气流,进而发现了松辽盆地南部大型整装高产气藏<sup>[6]</sup>。之后,油田公司积极预探英台、王府和德惠等断陷的天然气资源,均取得了勘探发现,进一步扩大了天然气的勘探成果。

### 2.4.2 扶余油层致密油实现重大突破

“十一五”(2006—2010年)规划以来,油田公司针对拗陷区的扶余油层开展系统研究,形成了“深盆油藏”理论<sup>[6-7]</sup>,确立了“立足大场面,开辟新领域,寻找大型整装油田”的指导思想。2006年,R53井获得工业油流,突破了扶余油层原有储层孔隙度的下限标准(孔隙度为8%)。2012年,通过攻关水平井体积压裂技术,RP1井等水平井的石油产量获得突破。2014年以来,油田公司进一步深化“甜点”认识,通过集成蓄能体积压裂技术、扁平化管理与市场化运作,实现了致密油的效益开发,继而发现了让字井油田,累计提交石油探

明储量 $1.28 \times 10^8$  t。

### 2.4.3 多个油气新领域展现良好的勘探潜力

“十三五”(2016—2020年)规划以来,面对剩余资源劣质化加剧的问题,中国石油吉林油田公司积极转变思路,以发现经济可采储量为目标,在加大对松辽盆地南部老区精细化勘探和未动用储量评价建产的同时,进一步加强对新领域、新类型油气资源的勘探,在扶杨油层致密油藏、长岭页岩油、深层基岩气藏和裂缝性油藏等领域先后获得了工业突破,在煤岩致密气(煤层气)新类型资源研究认识上取得重要进展。

## 3 新领域、新类型油气资源的地质特征及资源潜力

### 3.1 扶杨油层致密油藏的地质特征及资源潜力

扶杨油层为泉头组四段(泉四段)扶余油层、泉头组三段(泉三段)杨大城子油层的统称,是松辽盆地南部主力含油层系之一,已探明石油地质储量约为 $10 \times 10^8$  t。剩余资源主要分布在中央拗陷区,油层埋深一般大于1750 m,孔隙度小于12%,渗透率小于1 mD,属于致密油资源<sup>[5,16-19]</sup>,资源量为 $10 \times 10^8$  t。目前,让字井地区扶余油层致密油藏已实现开发动用,探明地质储量超过 $1 \times 10^8$  t;研究表明,拗陷区扶余油层的剩余油气资源仍具有较大规模。杨大城子油层长期以来作为扶余油层的兼探层位,因缺少针对性的勘探部署,研究认识不足;近年来老井的复查评价表明该油层具有较大的勘探潜力,可作为重要的勘探开发新领域。

#### 3.1.1 储层特征

泉四段主要发育三角洲平原—三角洲前缘沉积,储层由下到上可划分为Ⅳ、Ⅲ、Ⅱ和Ⅰ共计4套砂组。其中,Ⅲ砂组和Ⅳ砂组为三角洲平原亚相沉积,发育分流河道砂体,单层砂体的厚度为5~10 m;Ⅱ砂组和Ⅰ砂组为三角洲前缘亚相沉积(图2),单层砂体厚度为1~8 m。泉四段整体的砂体厚度为35~80 m,砂体与地层厚度比(砂地比) $>40\%$ 。砂体分布整体表现为横向上连通差、纵向上叠置连片的特征。泉四段的岩石类型以长石岩屑粉砂岩和细砂岩为主;胶结类型主要为接触式胶结、次生加大胶结和孔隙式胶结;储层内主要发育粒间孔、溶蚀孔等微孔,储层物性主要受控于压实成岩作用,随埋深增加物性明显变差;储层的平均孔隙度一般小于10%,渗透率小于1 mD。储层的微观特征显示,其内部孔隙连通性差,孔喉中值半径大多集中分布在0.02~0.40  $\mu\text{m}$ ,为典型的致密砂岩储层。

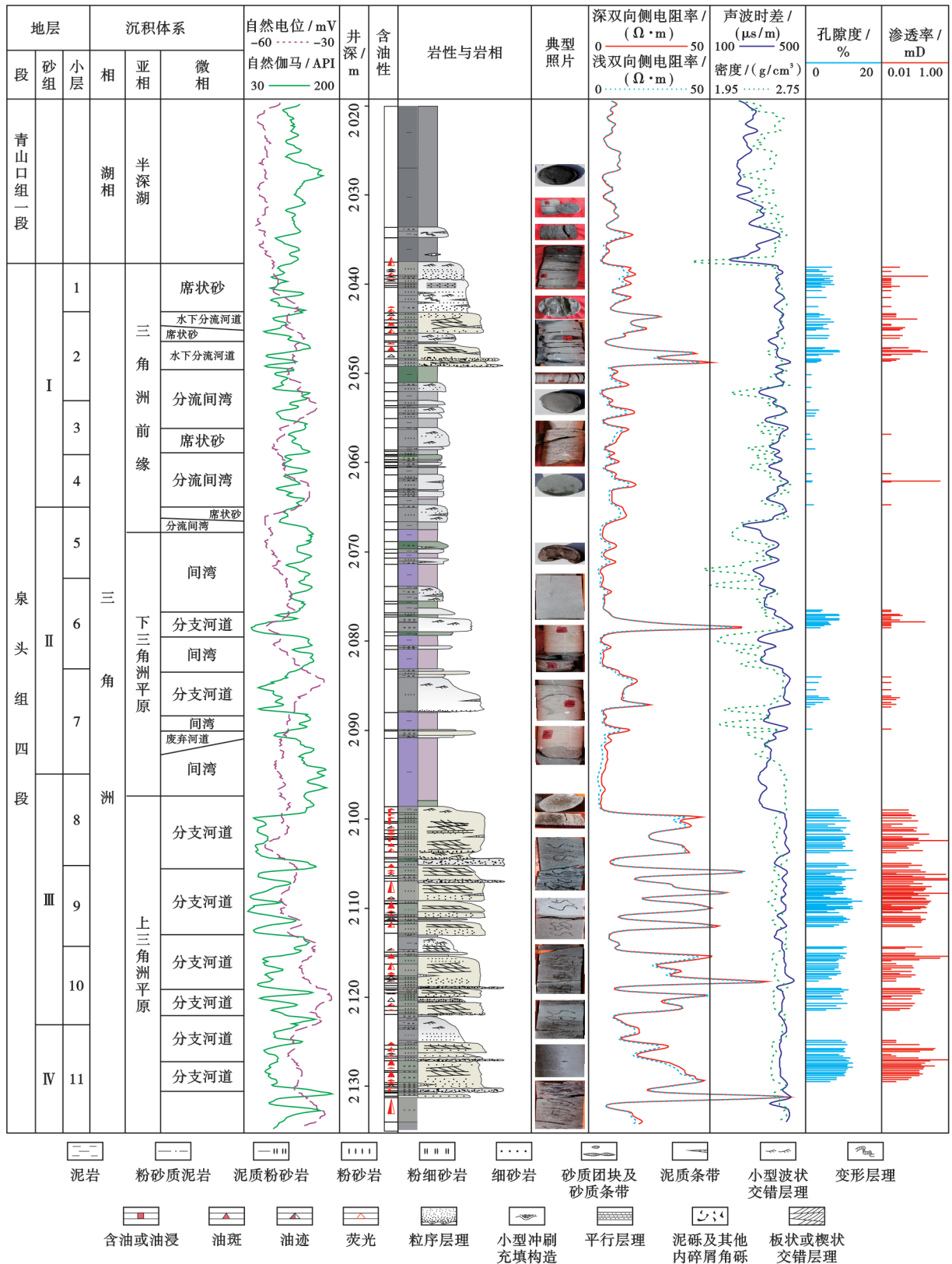


图 2 扶杨油层泉头组四段储层综合特征

Fig. 2 Comprehensive reservoir characteristics of the 4th Member of Quantou Formation in Fuyang reservoir

泉三段主要发育曲流河沉积,储层由下到上也划分为IV、III、II、I共计4套砂组。其中,III砂组和IV砂组为丰水期曲流河沉积,多期分流河道砂体呈叠置发

育,单层砂体厚度为5~15 m; I砂组和II砂组为低水位期河流沉积,主要发育边滩及透镜状河道砂体,横向变化快,河道砂体宽度为1.5~2.0 km,单层厚度为2~

10 m。泉三段储层的整体砂体厚度为 20~30 m,砂体厚度与地层厚度比(砂地比)为 10%~30%。储层的岩石类型以长石岩屑细砂岩和粉砂岩为主;胶结类型主要为接触式胶结,其次为孔隙式胶结和接触-孔隙胶结;储层孔隙类型以原生粒间孔为主,其次为次生粒间

溶孔和粒内溶孔(图 3)。受岩相、埋深、胶结物含量和溶蚀作用等因素控制,不同地区的储层物性差异较大,其中,致密油藏发育区的储层孔隙度一般为 6%~14%,渗透率为 0.1~1.0 mD,孔喉中值半径大多集中在 0.02~0.60  $\mu\text{m}$ 。

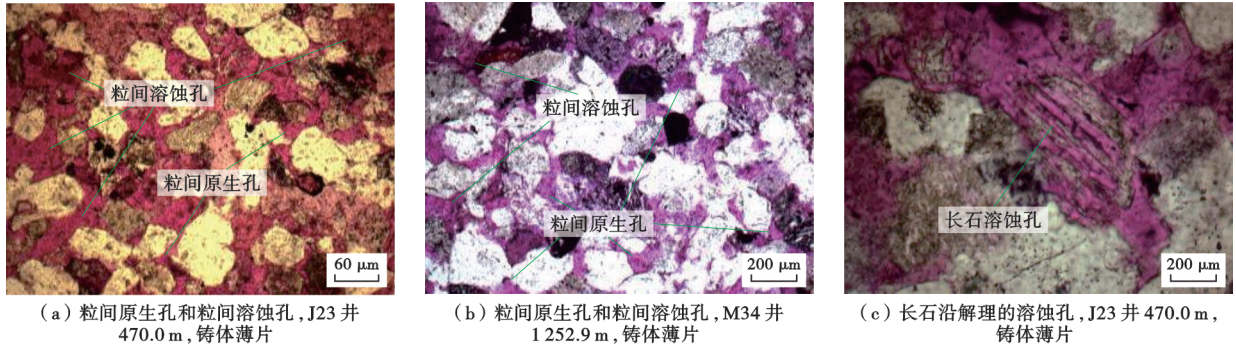


图 3 泉头组三段储层的孔隙特征

Fig. 3 Pore characteristics of reservoir in the 3rd Member of Quantou Formation

3.1.2 成藏特征

扶杨油层致密油藏具有“三位一体”的成藏模式<sup>[20]</sup>:  
 ①上覆青山口组一段(青一段)、青山口组二段(青二段)广泛发育较高成熟度的优质烃源岩,为油气成藏提供了丰富的物质基础。其中,青一段烃源岩厚度大,为 40~120 m;有机质丰度高,总有机碳(TOC)含量为 1%~6%,有机质成熟度( $R_o$ )为 0.7%~1.3%,处于成熟阶段;生烃能力强、排烃强度大,一般为  $(90\sim400)\times 10^4\text{t}/\text{km}^2$ ,源岩品质好。  
 ②下伏泉四段和泉三段的砂体储层呈叠置发育、大面积连续分布。其中,泉四段在中央坳陷区的西部、西南部和东南部发育三角洲沉积体系,呈交错叠置,“满盆含砂”。  
 ③泉四段顶界地震反射界面( $T_2$ )上断裂发

育,断裂有效沟通了青一段烃源岩与泉三段、泉四段致密储层,形成了“上生下储、超压排烃、倒灌成藏”。油气在烃源岩超压作用下,穿过烃源岩的底面和侧界面,或以断层(微裂隙)为通道,向下倒灌排运到泉三段、泉四段储层中;由于储集层较致密,孔隙及喉道狭小,油分子受到的浮力远小于界面张力,浮力无法驱动油分子纵向、横向运移,原油富集到致密储层中,形成大面积分布的致密油;上覆青一段、青二段暗色泥岩的厚度和超压控制了油气的分布范围,在坳陷的含油包络面以上形成油层连片分布的致密油藏(图 4)。扶杨油层致密油藏的油水分离差,试油、试采结果均为油水同层,整体表现为低饱和度油藏,含油饱和度为 35%~50%。

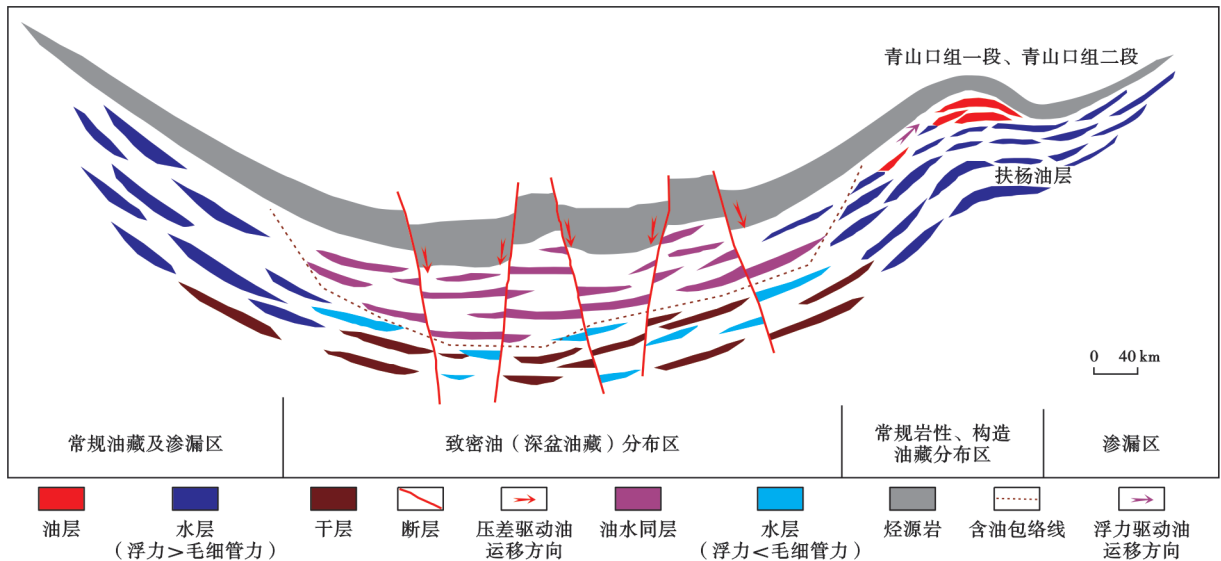


图 4 松辽盆地南部扶杨油层致密油成藏模式(据文献[5]修改)

Fig. 4 Tight oil accumulation model of Fuyang reservoir in southern Songliao Basin

### 3.1.3 油气富集要素及资源潜力

扶杨油层致密油区直井产量低、效益差,一般产油量仅为  $0.5 \sim 3.0 \text{ t/d}^{[20]}$ ,目前主要应用水平井实现效益动用。近年来,通过提升地震资料品质和纵、横向分辨率,应用地质统计学反演等综合预测技术有效落实了扶杨油层有效砂体的分布规律,大幅提高了水平井的油层钻遇率,让字井油田致密油藏已实现效益开发。笔者通过解剖让字井油田致密油藏特征,进一步明确了其油气富集的主控因素:①鼻状构造背景有利于油气富集。让字井油田位于两井一乾安地区的鼻状构造上,NE 向展布的砂体与鼻状构造呈有利配置,形成了大面积分布的岩性油藏。②油层厚度大、平面发育相对稳定。让字井油田致密油藏位于泉四段 I 砂组和 III 砂组主砂带发育区, I 砂组的有效砂体厚度大于  $6 \text{ m}$ , III 砂组的有效砂体厚度大于  $8 \text{ m}$ ,且连续性较好,水平井的油层钻遇率高。③让字井油田泉四段储层中发育一定量的以  $\text{CO}_2$  为主的幔源气,导致原始溶解气油比较高,地层能量较足,有利于油气产出。

综合油藏储层品质、开发工程品质以及动用方式,油田公司建立了扶杨油层致密油藏“甜点”评价标准。其中, I 类储层的岩性为粉砂岩,油气显示级别为油斑

以上,储层有效厚度  $\geq 6 \text{ m}$ ,岩石脆性指数  $\geq 50$ ,储层发育连续,地震剖面特征清晰,容易追踪及预测。

根据上述致密油藏“甜点”评价标准,扶余油层致密油藏可识别出 5 个“甜点区”,即让字井区带、新北一庙西区带、余字井区带、孤店区带和大情字井区带,估算其资源量为  $5 \times 10^8 \text{ t}$ 。杨大城子油层的勘探认识程度较低,初步明确新北一庙西 1 个“甜点区带”,其致密油资源量为  $0.7 \times 10^8 \text{ t}$ 。

### 3.2 长岭页岩油的地质特征及资源潜力

松辽盆地拗陷期发育 2 期大规模的湖侵,青一段、青二段和嫩江组一段(嫩一段)、嫩江组二段(嫩二段)分别广泛发育了富含有机质的厚层半深湖—深湖亚相页岩(图 5)。其中,长岭凹陷嫩一段和嫩二段有机质的热演化程度较低( $R_o$  为  $0.5\% \sim 0.7\%$ ),发育低成熟页岩油;青一段和青二段有机质的热演化程度较高( $R_o > 0.7\%$ ),发育中—高成熟页岩油,页岩油资源丰富<sup>[10,21]</sup>。近几年,中国石油吉林油田公司针对长岭凹陷青一段、青二段中—高成熟有机质页岩油开展了一系列研究,13 口钻井共取岩心长度  $1621 \text{ m}$ ,对重点样品进行了页岩含油性、储层物性、岩相特征等分析测试,明确了该地区页岩油藏的地质特征、“甜点”分布及资源潜力。

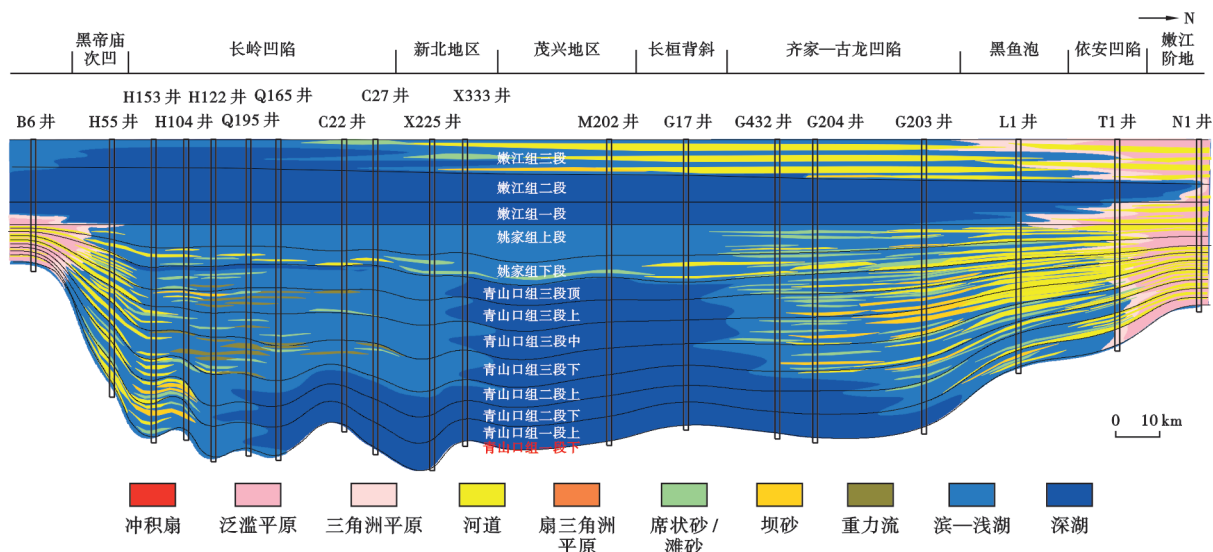


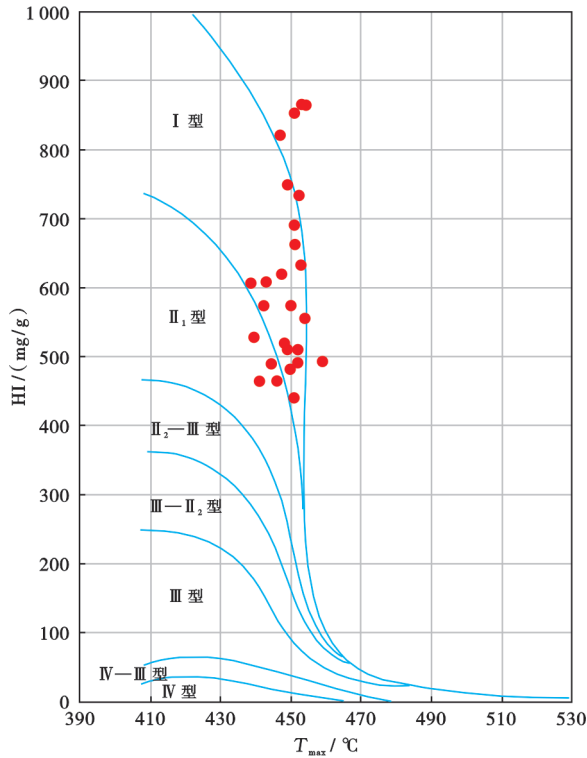
图 5 松辽盆地 SN 向青山口组—嫩江组剖面沉积相分布

Fig. 5 Sedimentary facies distribution of Qingshankou-Nenjiang formations in the south-north section of Songliao Basin

#### 3.2.1 有机地球化学特征

长岭凹陷青一段、青二段富有机质页岩发育,单层页岩厚度为  $2 \sim 15 \text{ m}$ ,累计厚度为  $80 \sim 120 \text{ m}$ 。页岩的有机质类型以 I 型和 II<sub>1</sub> 型为主(图 6),为典型的湖相富有机质页岩;TOC 含量为  $1.0\% \sim 6.0\%$ ,平均为  $2.4\%$ 。凹陷区富有机质页岩的埋深为  $1600 \sim 2600 \text{ m}$ ,  $R_o$  为  $0.5\% \sim 1.3\%$ ,平均为  $1.05\%$ 。其中,低成熟烃

源岩占  $9.75\%$ ,成熟烃源岩占  $85.36\%$ ,高一过成熟烃源岩占  $4.87\%$ ,大部分源岩正处于生油高峰阶段,  $R_o > 0.7\%$  的有机质页岩的分布面积达到  $5000 \text{ km}^2$ 。盆地模拟揭示,青一段、青二段页岩的生烃强度为  $(400 \sim 1200) \times 10^4 \text{ t/km}^2$ ,生烃量达  $360 \times 10^8 \text{ t}$ 。综上所述,青一段和青二段页岩有机质丰度较高、类型好,整体处于热演化成熟阶段,为页岩油成藏奠定了物质基础。



注： $T_{max}$ —最高热解峰温；HI—氢指数。

图6 青一段、青二段页岩有机质类型划分

Fig. 6 Organic matter type classification of shales in the 1st and 2nd Member of Qingshankou Formation

3.2.2 储层特征

岩石薄片鉴定与全岩矿物 X 射线衍射分析显示，青一段和青二段页岩的主要矿物由碎屑矿物（主要为

石英和长石）、黏土矿物（主要为伊利石和伊/蒙混层）及碳酸盐矿物（主要为方解石、白云石和铁白云石）组成，并含有少量黄铁矿等。其中，石英含量为 28.4%~36.7%，长石含量为 12.9%~30.4%，黏土矿物含量为 24%~55%，以伊利石、伊/蒙混层为主，其次为高岭石；碳酸盐矿物含量为 2.8%~21.3%。青一段和青二段页岩的矿物组成主要受区域沉积环境的影响，由南向北，陆源碎屑供给量逐渐减少，碎屑矿物含量随之减少，黏土矿物含量逐渐增大。

氩离子抛光-场发射扫描电镜分析显示，青一段和青二段页岩发育粒间孔、晶间孔、粒间溶孔、有机质孔和微裂缝等多种储集空间类型（图 7）。其中，孔隙以粒间孔和晶间孔为主，粒间孔多存在于粗碎屑颗粒之间，而晶间孔的发育与黏土矿物及草莓状黄铁矿集合体有关；储层内发育少量有机质孔和微裂隙。高压压汞实验和低温  $N_2$  吸附实验联合表征结果显示，青一段和青二段页岩储层发育大量纳米—微米级孔隙，孔径呈多峰状分布特征，主要孔径峰值分别位于 10~100  $\mu m$ 、1  $\mu m$ 、0.01~0.10  $\mu m$  和小于 0.010  $\mu m$ ，孔喉中值半径平均为 8 nm。页岩总孔隙度为 8%~12%，有效孔隙度为 2%~6%。覆压渗透率实验表明，在 10~21 MPa 的围压下青一段和青二段页岩的水平渗透率为 0.1~1.0 mD，垂直渗透率为 0.00006~0.00300 mD，水平渗透率为垂直渗透率的 100~1000 倍，表明页岩具有一定的储集和渗流条件，为页岩油成藏提供了储集空间。

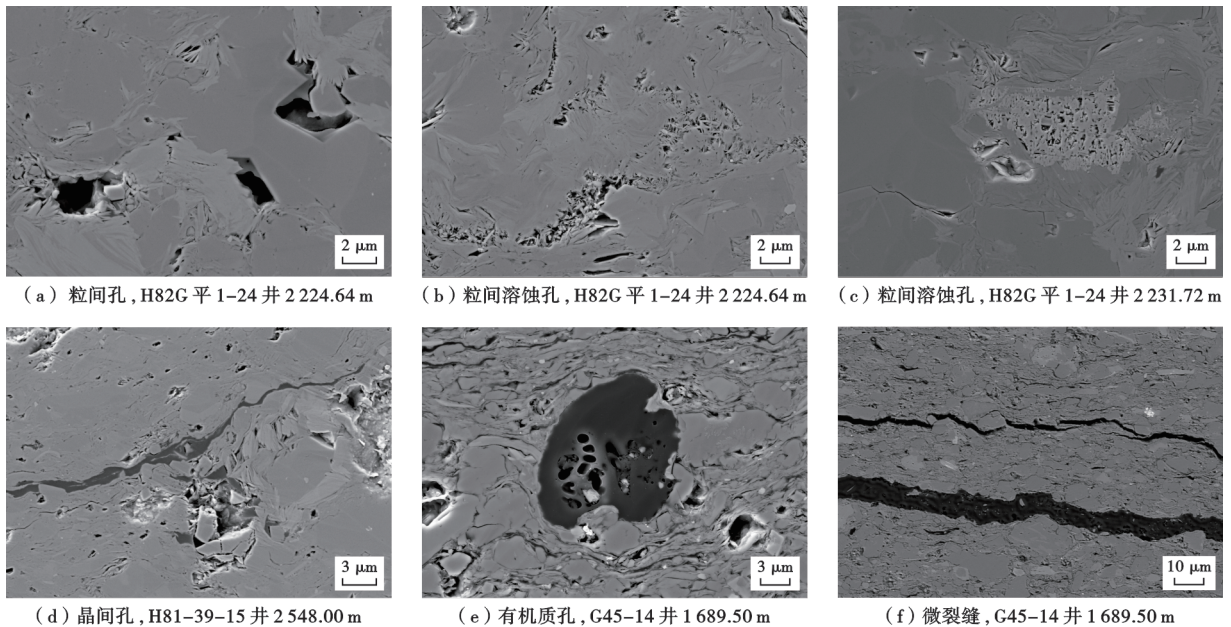


图7 青一段和青二段页岩的扫描电镜特征

Fig. 7 Scanning electron microscopic characteristics of shales in the 1st and 2nd Member of Qingshankou Formation

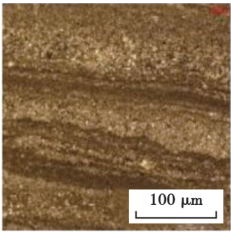
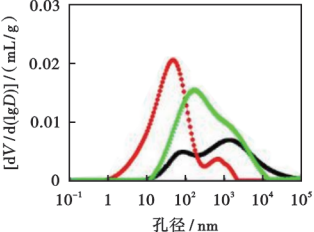
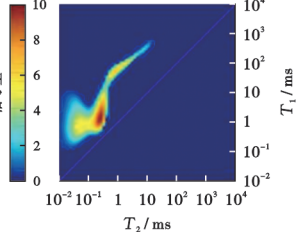
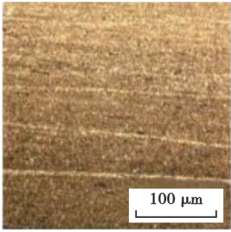
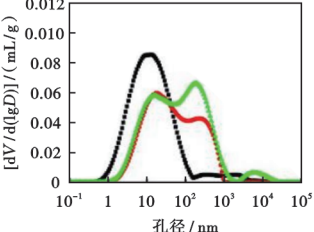
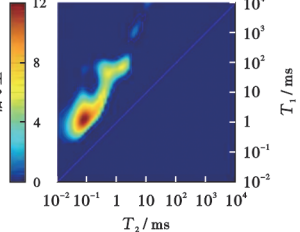
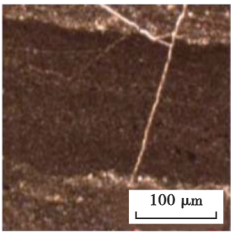
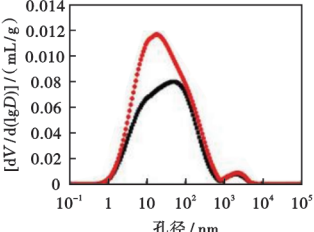
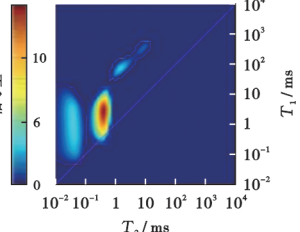
3.2.3 岩相特征

笔者按照“有机质丰度-沉积构造-矿物成分-岩性”

页岩划分为粉砂级纹层长英质页岩、泥级纹层长英质页岩和泥级纹层黏土质页岩 3 类主要岩相,各类岩相的具体特征见表 1。

表 1 长岭凹陷青山口组页岩的岩相划分

Table 1 Shale lithofacies classification of Qingshankou Formation in Changling sag

岩相名称	岩相描述	岩石薄片特征	孔径分布特征	二维核磁共振特征
粉砂级纹层长英质页岩	TOC 含量约为 2% 脆性矿物含量 >50% 粉砂级纹层占比为 10%~50%			
泥级纹层长英质页岩	TOC 含量 >1% 脆性矿物含量 >50% 粉砂级纹层占比 <10%			
泥级纹层黏土质页岩	TOC 含量 >2% 脆性矿物含量 <50% 粉砂级纹层占比 <10%			

注:V—孔隙体积;D—孔隙直径;T<sub>1</sub>—纵向弛豫时间;T<sub>2</sub>—横向弛豫时间。

3.2.4 甜点分布及资源潜力

长岭页岩油现已初步形成“非常规油气分析化验 + 细粒沉积 + 多富集要素耦合分析”的地质“甜点”评价技术、以“元素 + 核磁共振 + 介电常数”为代表的特殊测井“甜点”识别技术和以“地质工程甜点预测 + 隐蔽断层识别”为主要手段的地震“甜点”预测技术,有效指导了长岭页岩油的发现与工业突破。长岭页岩油的“甜点”分布受烃源岩、储层和工程品质等共同控制,呈现纵向多层分布特征。通过地质工程“甜点”综合评价,结合试油动态资料,优选可动孔隙度、可动油饱和度及脆性矿物含量为“甜点”选层关键参数,有机质成熟度、压力系数及 I 类层厚度为“甜点”选区关键参数,建立长岭页岩油“甜点”分类评价标准: I 类层的可动孔隙度 ≥ 3%、可动油饱和度 ≥ 40%、脆性矿物含量 ≥ 50%; I 类区的 R<sub>0</sub> ≥ 1.2%、压力系数 ≥ 1.2; I 类层的厚度 ≥ 4 m,粉砂级纹层长英页岩发育。

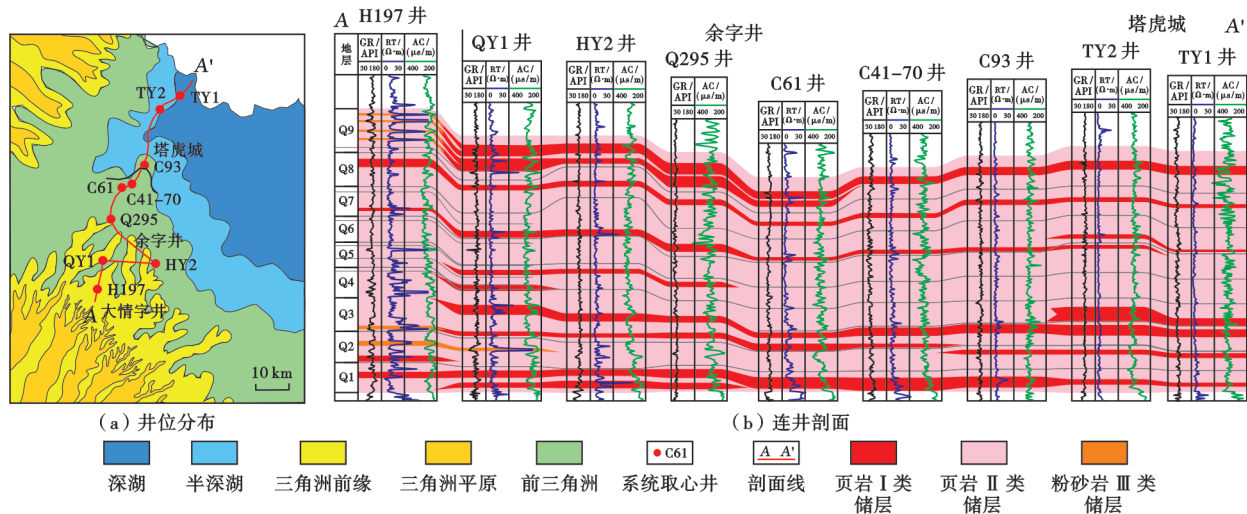
长岭页岩油的发育受青山口组的沉积演化特征控制,整体呈多“甜点”分布。①青山口组在纵向上发育

2 套“甜点层”,即下甜点层段的 Q1—Q3 层、上甜点层段的 Q9 层(图 8)。依据层序地层学与地球化学特征,长岭页岩油藏的青山口组在纵向上可划分为 9 个层(Q1—Q9 层),其中, Q1—Q3 层为水进体系域, Q4—Q6 层为高水位体系域, Q7—Q9 层为水退体系域。下甜点层段的 Q1—Q3 层和上甜点层段的 Q9 层分别处于水进期与水退期,陆源碎屑物质供给充足,长英质页岩发育,源岩品质适中,脆性矿物含量高。HY2 井、C93 井等多口井在试油中已获得工业油流,进一步证实了这 2 套层段为页岩油“甜点层段”。②长岭凹陷在平面上目前共落实了 3 个“甜点区”,即大情字井夹层型页岩油甜点区、余字井页岩型页岩油甜点区和塔虎城页岩型页岩油甜点区。“甜点区”的分布整体受沉积体系发育控制,南部大情字井甜点区处于三角洲前缘沉积相带,纵向上发育 3 套页岩夹 2 套砂岩的源-储组合,砂岩厚度为 1~4 m,“甜点区”面积为 640 km<sup>2</sup>,页岩油资源量为 5 × 10<sup>8</sup> t;中部余字井甜点区处于前三三角洲一半深湖沉积相带(图 8),湖泊生产力为中等—高,以机械



沉积、絮凝混合沉积为主,陆源供给程度略低,源岩品质适中,发育粉砂级纹层,“甜点区”面积为 800 km<sup>2</sup>,页岩油资源量为 6 × 10<sup>8</sup> t。北部塔虎城甜点区处于深湖沉积相

带,湖泊生产力高,以絮凝沉积和生物沉积为主,源岩品质好,泥级纹层黏土质页岩与长英质页岩呈互层发育,“甜点区”面积为 750 km<sup>2</sup>,页岩油资源量为 5.8 × 10<sup>8</sup> t。



注:GR—自然伽马;RT—电阻率;AC—声波时差。

图 8 长岭凹陷青山口组页岩油藏“甜点”分布特征

Fig. 8 Sweet spot distribution of shale reservoir in Qingshankou Formation, Changling sag

### 3.3 基岩气藏的地质特征及资源潜力

目前,松辽盆地北部中央古隆起的基岩气藏勘探已获得突破<sup>[22-23]</sup>;特别是在近两年,中国石油吉林油田公司将中央古隆起的基岩储层作为风险勘探的重点领域,有效推进了基岩气资源的认识与勘探突破<sup>[24]</sup>。在中央古隆起南部,基岩储层的勘探面积大(10 000 km<sup>2</sup>),埋深适中(700~3 000 m),目前钻遇基岩的探井有 56 口,揭示基岩储层的厚度为 25~200 m。其中,22 口钻井可见油气显示,3 口钻井在试气中已获得工业气流,展现了较大的勘探潜力,有望成为重要的天然气资源接替领域。

#### 3.3.1 构造特征

中央古隆起的基岩储层主要位于地震反射界面 T<sub>5</sub> 以下的地层中(图9),钻井揭示其主要发育地层为

上古生界石炭系一二叠系和侏罗系,局部发育元古界。

中央古隆起的发育可划分为前白垩纪雏形期、断陷发育期、拗陷定型期 3 个阶段,整体呈东陡西缓、南北分块的构造格局。断陷期,古隆起内发育桑树台凸起、杨大城子凸起、双坨子—乌兰凸起、农西凸起、前郭凸起和扶余凸起 6 个凸起带,是油气长期运移的指向区(图 9)。古隆起内构造圈闭发育,目前共探明 10 个,圈闭累计面积为 3 945 km<sup>2</sup>,这为油气聚集提供了良好的地质条件<sup>[25]</sup>。

#### 3.3.2 储层特征

根据露头剖面、岩心与测井等资料,中央古隆起的基岩岩性可划分为 3 类 8 种岩石类型。其中,岩浆岩类主要发育花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩,变质岩类主要发育片岩、千枚岩和碎裂岩,沉积岩类主要发育灰岩和白云岩。通过对基岩岩性进行重力-磁法-地震综合解译,结合实测岩心校正,建立了不同岩性基岩的预测标准,并得出中央古隆起北部以发育花岗岩为主,中部的基岩岩性为片岩和安山岩,南部则主要发育花岗岩和闪长岩<sup>[25]</sup>。

储层综合评价认为,优势基岩岩性为花岗岩,其次为片岩、碳酸盐岩和碎裂岩。花岗岩的物性相对较好,裂缝相对发育,平均孔隙度为 3.5%,平均渗透率为 0.52 mD。基岩储层主要发育构造缝、溶蚀缝、矿物晶体碎裂缝和溶蚀孔 4 种孔-缝类型,可分为孔隙-裂缝型和裂缝型 2 种储集空间,裂缝为基岩气藏成储的主控因素。其中,花岗闪长岩的成缝能力最强,片岩和闪

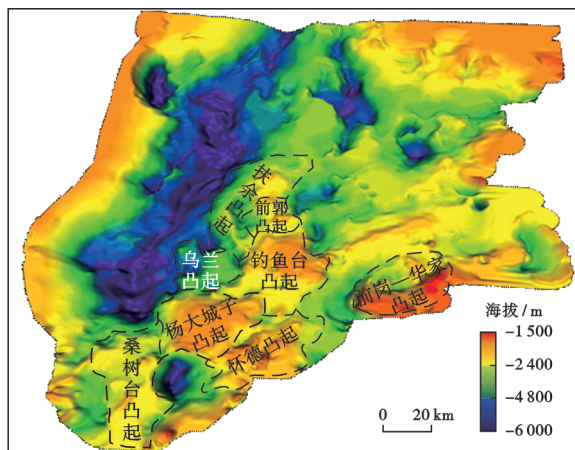


图 9 中央隆起带 T<sub>5</sub> 地震反射层的构造特征

Fig. 9 Structure characteristics of T<sub>5</sub> seismic reflector in central uplift zone

长岩次之,灰岩最差。中央古隆起基岩储层主要分布于风化壳内,具有风化堆积层、风化淋滤层和裂缝层 3 层结构。孔隙-裂缝型储层主要发育在风化壳淋滤层中,是基岩风化壳最有利的储层,其孔-缝最为发育,孔隙度为 3%~8%,裂缝密度大于 1 条/m;裂缝型储层则发育在基岩风化壳和基岩内幕中。

### 3.3.3 成藏模式及资源潜力

中央古隆起周缘共发育 5 个断陷和 13 个洼槽,烃源岩的 TOC 含量高,均达到中等一好的级别,为基岩储层提供了良好的气源条件。油气侧向运移受输导条件制约,通常就近聚集在生烃洼槽周边的基岩储层内。中央古隆起的油气显示井表明,油气的运移距离不超过 20 km,60%的油气运移距离小于 6 km。

依据源-储配置关系,笔者建立了中央古隆起基岩气藏 3 种源-储对接成藏模式和 5 种源-储配置关系(图 10),其中,以源内披覆型源-储对接成藏模式最优,其次为近源超覆和陡坡顺向源-储对接成藏模式。源内断阶披覆的配置关系主要表现为基岩凸起带通过断层对接到烃源岩并被烃源岩包裹,源岩多向供烃,基岩风化壳储集油气,源岩层覆盖,供烃窗口的大小决定了气藏的富集程度。源内背斜披覆的配置关系主要表现为基岩古隆起位于生烃洼槽内部,烃源岩披覆于古隆起之上,源岩多向供烃,基岩风化壳储集油气,源岩的生烃潜力、断裂活动和圈闭有效性决定了气藏的富集程度。缓坡超覆的配置关系表现为断陷期烃源岩超覆尖灭于基岩凸起之上,油气通过不整合面运移,并储集于基岩风化壳内,坳陷层覆盖之上,圈闭的有效性决定了气藏的富集程度。近源陡坡(顺向或反向)对接的配置关系表现为基岩凸起通过断层与烃源岩对接,源岩侧向供烃,通过基岩风化壳及基岩内幕储层储集油气,圈闭的有效性和断裂的连通性共同决定了气藏富集。

目前,结合源-储配置关系,油田公司初步利用散射波分离技术和振幅随频率变化(AVF)分频地震预测技术实现了基岩的有效储层预测,储层预测的符合率达到 75%;同时形成了“优势岩性控储、高角度裂缝控富集”的勘探模式,建立了基岩“孔-缝体”气藏模式,有效指导了基岩气藏的勘探发现与工业突破。

根据距离生烃洼槽的远近,将中央古隆起基岩气藏进一步划分为源内凸起、近源凸起、远源凸起 3 种。源内凸起基岩气藏位于生烃洼槽内,烃源岩与基岩储层呈披覆对接;近源凸起的基岩储层紧邻洼槽,烃源岩侧向与之对接;远源凸起的基岩储层距离生烃洼槽超过 10 km,油气远源侧向运移。目前优选的基岩气藏有利目标包括源内凸起 9 个、近源凸起 8 个和远源高

凸 7 个,累计面积为 1715 km<sup>2</sup>,初步估算基岩气的总资源量达 5 000 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。

### 3.4 煤层气地质特征及资源潜力

2000 年以来,松辽盆地南部已有多多个深层富烃断陷相继获得天然气勘探发现,进一步揭示其深层具有良好的天然气勘探前景<sup>[26-27]</sup>。近两年,在坚持常规气、致密气勘探的同时,中国石油吉林油田公司也在不断探索天然气勘探新类型。研究认为,松辽盆地南部深部煤层气成藏条件好、资源品质优,煤体结构好、割理裂缝发育,煤岩中游离气与吸附气共存,煤岩厚度大、平面发育稳定、分布范围广,具备规模勘探的潜力。基于此,油田公司开展了松辽盆地南部煤层气成藏条件和区带目标研究,大力推进风险勘探部署,探索煤层气这一新类型天然气资源的开发潜力。

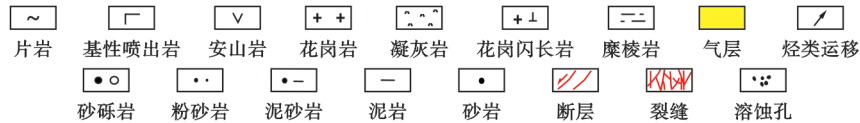
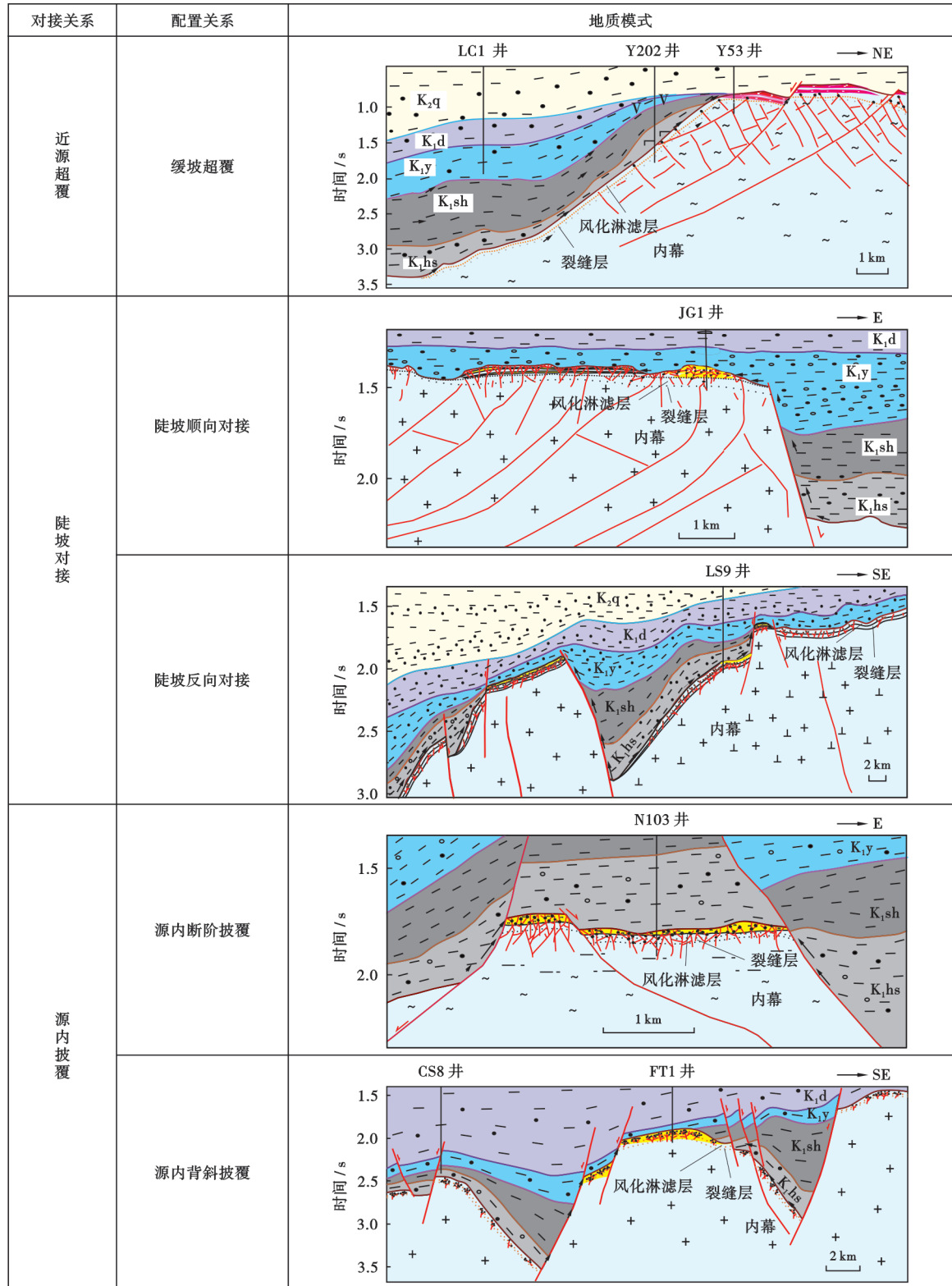
#### 3.4.1 煤岩发育特征

松辽盆地南部深部煤层在纵向上主要分布于火石岭组和营城组,以厚煤、巨厚煤为主。其中,火石岭组单层煤层的厚度一般为 5~25 m,例如,伏龙泉断陷 F15 井揭示的单层煤层厚度为 25.0 m;德惠断陷 DS4 井揭示的单层煤岩厚度为 14.0 m,王府断陷 CS30 井揭示的单层煤层厚度为 13.6 m。营城组单层煤层的厚度为 2~15 m,其中,在德惠断陷煤层的累积厚度最大,约为 67 m,在王府断陷、梨树断陷煤层的累积厚度次之,约为 43 m。

火石岭组沉积早期,盆地内多处发生以中一基性岩浆为主的火山喷发并形成火山岩台地;中期,随着裂陷拉张,盆地低洼部形成湖泊,发育火石岭组二段(火二段)烃源岩;晚期,酸性火山岩浆沿裂隙喷发形成以流纹岩为主的薄层火山沉积,而浅水洼地则演化为沼泽环境,火石岭组沉积末期的火山活动导致大面积滨湖沼泽化作用加速,形成了稳定分布的主煤层<sup>[28]</sup>。火石岭组三分地层结构明显,上、下层发育厚度为 200~1000 m 的火山岩,中部为一套湖相砂泥岩,顶部为煤层沉积。营城组的成煤环境为三角洲间湾—沼泽亚相,煤层数量多、发育广泛,累计厚度大。

#### 3.4.2 成藏特征

松辽盆地南部深部煤岩品质优、生气能力强,热演化程度高,处于大规模生气阶段。分析结果显示:煤岩的有机显微组分以镜质组为主,含量为 90%;煤岩具有特低水分、低灰分、低挥发分的化学特征。其中,灰分含量为 3.85%~24.18%,平均为 13.10%,属于特低—低/中等灰分煤;挥发分含量为 3.89%~24.44%,平均为 13.20%,属于低挥发分煤;水分含量为 0.27%~0.99%,平均为 0.85%。煤储层的真密度为 1.40~1.61 g/cm<sup>3</sup>,平均为 1.46 g/cm<sup>3</sup>;视密度为 1.33~1.54 g/cm<sup>3</sup>,平均为



注: K<sub>2</sub>q—泉头组; K<sub>1</sub>d—登娄库组; K<sub>1</sub>y—营城组; K<sub>1</sub>sh—沙河子组; K<sub>1</sub>hs—火石岭组。

图 10 不同源-储对接类型和配置关系的基岩气藏成藏模式

Fig. 10 Accumulation models of bedrock gas reservoirs with different source-reservoir docking types and configurations

1.39 g/cm<sup>3</sup>;随着埋深加深,煤储层的密度呈增大的趋势。煤岩的  $R_v$  为 1.8%~2.3%,处于瘦煤—贫煤阶段,生气量大。

煤岩以光亮型煤为主,煤体结构好,为低孔储层,割理裂缝发育。精细岩心描述显示,煤岩以亮煤、半亮煤为主,呈块状、柱状结构;割理发育,面割理密度为 0.6~1.3 条/cm,端割理密度为 1.0~2.6 条/cm;断面上割理呈线状、网状连续性分布。割理裂缝发育,有利于气体

产出(图 11)。煤岩的气测孔隙度为 4.09%~5.55%,平均为 4.98%,整体属于低孔储层。低温 N<sub>2</sub> 吸附实验表明,煤储层中发育的小孔(孔径为 2~100 nm)的平均孔径分布于 3.16~4.21 nm;低温 CO<sub>2</sub> 吸附实验显示,煤储层中以孔径小于 0.7 nm 的吸附孔为主,煤岩的比表面积为 176~221 m<sup>2</sup>/g,平均为 190 m<sup>2</sup>/g,比面积以微孔(孔径<2 nm)贡献最大,约占 91%,由此可见,松辽盆地南部煤储层内微孔、小孔发育,有利于煤层气的吸附。



图 11 火石岭组煤岩的岩心特征

Fig. 11 Coal core characteristics of Huoshiling Formation

松辽盆地南部煤层气以游离态与吸附态共存。由甲烷等温吸附实验测定的火石岭组煤岩的 Langmuir 体积( $V_L$ )为 9.59~21.29 m<sup>3</sup>/t、平均为 18.34 m<sup>3</sup>/t, Langmuir 压力( $p_L$ )为 3.57~6.42 MPa、平均为 4.05 MPa,整体表现为煤岩  $V_L$  较大,煤层气吸附能力强且易于解吸。松辽盆地南部的地层压力系数约为 1.07。根据 Langmuir 方程计算得出,煤岩的理论吸附气含量为 14.31~19.03 m<sup>3</sup>/t,平均为 17.3 m<sup>3</sup>/t。煤层气井的气测录井资料显示,全烃峰值分异明显,峰值与煤岩厚度呈正相关性,气测峰值分布区与煤岩发育区相对应。采用经验公式<sup>[29-30]</sup>和实验结果预测,煤储层中的游离气含量为 4.10~6.69 m<sup>3</sup>/t,平均为 5.62 m<sup>3</sup>/t;煤储层的总含气量(游离气量+吸附气量)为 18.41~25.56 m<sup>3</sup>/t,平均为 21.86 m<sup>3</sup>/t,具备较好的勘探前景。

### 3.4.3 有利区带及资源潜力

结合钻井与地震资料,通过开展煤质、储层特征与含气性等分析测试,逐步明确了松辽盆地南部煤岩的沉积分布特征、煤岩品质和煤储层特征以及煤层气富集的主控因素。目前,油田公司已形成“源岩恢复-测井识别-地震预测”的岩性综合识别预测技术,同时,依托构造精细解释与大曲率融合等多参数地震预测技术,建立了构造转换带和火山喷发双重控煤模式,形成了“填平补齐成煤”模型,明确了松辽盆地南部深部煤层气资源具有良好的勘探开发前景。初步探明火石岭组煤层面积为 19370 km<sup>2</sup>,厚度为 2~38 m,营城组煤层面积为 4890 km<sup>2</sup>,厚度为 2~70 m。采用体积法估

算,松辽盆地南部煤层气资源量超过  $1 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>,埋深小于 3000 m 的煤层气资源主要分布在盆地东部及盆缘,埋深大于 3000 m 的煤层气资源主要分布在盆地中西部(图 12)。

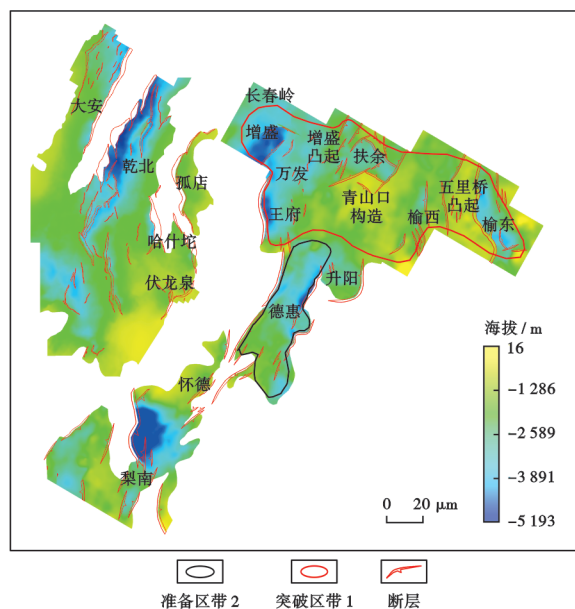


图 12 松辽盆地南部煤层气区带划分

Fig. 12 Coalbed methane zone division in southern Songliao Basin

### 3.5 裂缝性油藏的地质特征及资源潜力

松辽盆地南部以往勘探开发的主要油藏类型为构造油藏、断层-岩性油藏和岩性油藏,针对地层油藏和裂缝型油藏的研究与勘探部署较少。其中,在扶新隆起带西部的新北地区,1978 年完钻的 X197 井

于嫩一段—青山口组三段(青三段)揭示了多套裂缝型油层,并在针对青三段的试油中获得了7.6 t/d的工业油流,投产初期稳定产油量为5.6 t/d;截至目前,该井的产油量仍达1 t/d,累积产油量为 $3.4 \times 10^4$  t。新北地区裂缝型油藏目前共有工业井12口,其中,4口井的累积产油量超过 $1 \times 10^4$  t,展现出良好的勘探前景。

近两年,中国石油吉林油田公司通过针对性研究,进一步明确了松辽盆地南部具备形成裂缝型油藏的基本地质条件。青一段、青二段广泛发育优质烃源岩,油源充足;嫩江组沉积末期、明水组沉积末期发生了2期构造反转抬升,形成了多个大型反转构造和密集发育的断裂带,促进了储层裂缝的形成;嫩一段、嫩二段泥页岩在全区稳定分布,形成了区域盖层。松辽盆地南部裂缝型油藏分布范围较广、潜力较大,可作为重要的天然气勘探开发新类型。

### 3.5.1 地质特征

松辽盆地南部裂缝发育区可划分为2种类型:一类为反转构造带裂缝发育区,位于新北、大安、海坨子等反转构造区;另一类为凹陷内裂缝发育区,主要分布

于长岭凹陷,凹陷内发育众多断裂带,断裂带内及周缘为裂缝发育有利区。目前,新北地区裂缝型油藏的勘探取得了较好进展。

新北地区裂缝型油藏的油气主要来自青一段和青二段,源岩的TOC含量为2%~4%, $R_o$ 为0.7%~0.9%,已处于成熟阶段,同时油藏紧邻大安次级凹陷,且其鼻状构造背景有利于侧向供烃,油源充足。

新北地区整体为北倾的鼻状构造,泉头组沉积期,在拉张应力影响下,该地区发育近SN向断裂。嫩江组沉积末期,随着伸展作用转为挤压作用,该地区发生构造反转,鼻状构造初步成型,并于明水组沉积末期最终定型。晚期,受压扭应力影响,该地区形成了大量近EW向断裂,与早期形成的SN向断裂交叉分布,形成了大量微裂缝(图13),有利于油气富集。

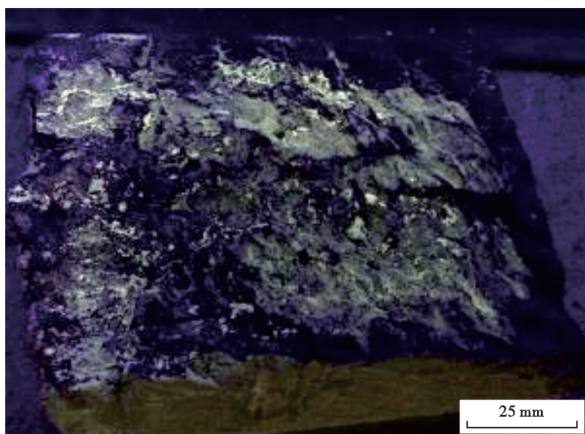
岩心和测井资料揭示,纵向上,新北地区裂缝发育层段较多,包括青一段、青二段、青三段、姚家组一段(姚一段)、姚家组二段(姚二段)+姚家组三段(姚三段)和嫩一段底部,主要发育在青三段和姚二段+姚三段。裂缝多为高角度斜交裂缝、垂直裂缝,裂缝面上见油膜显示(图13);局部呈现“鸡笼状”杂乱裂缝。



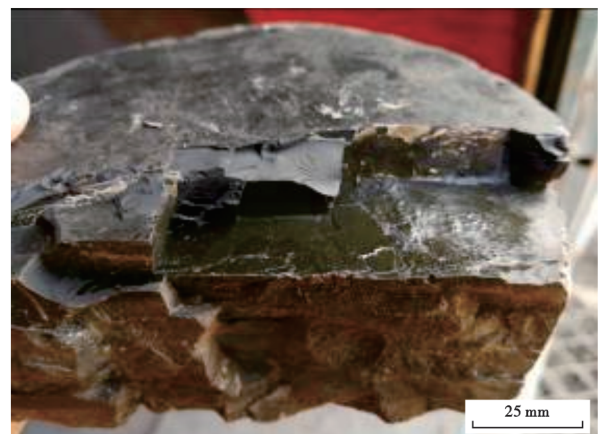
(a) 高角度缝,灰绿色泥岩,X381井837.4~845.1 m



(b) 高角度缝,深灰色页岩,X381井1649.6~1653.7 m



(c) 垂直缝,见油气显示,X380井919.7 m



(d) 裂缝面见油膜,X380井1649.6~1653.7 m

图13 岩心裂缝特征

Fig. 13 Core fracture characteristics

野外露头与钻井显示,新北地区青三段、姚二段+姚三段的岩性以棕红色、深灰色泥岩为主,夹紫红色泥质粉砂岩或粉砂质泥岩、灰白色粉砂岩和灰色介形虫灰岩,为滨/浅湖—三角洲沉积环境。连井剖面分析表明,薄层泥质粉砂岩、粉砂岩较为发育,累计厚度可达 50~150 m。其中,嫩二段、嫩三段单层砂岩相对较厚,可达 2~4 m,连续性好;青三段和姚一段单层砂岩的厚度较薄,一般小于 2 m,砂体横向变化快、纵向上呈多层叠置。矿物组分对比分析表明,裂缝的发育程度与碳酸盐矿物、石英和长石含量呈正比,与黏土矿物含量呈反比。薄层砂岩和钙质条带的发育增强了地层岩石的脆性,有利于裂缝的形成发育。

结合露头特征、钻井与地震资料,初步明确了微裂缝在新北地区鼻状构造轴部、翼部的负花状断裂带及周缘大量发育。露头剖面揭示,断层周围一定距离内均为断裂破碎带,其裂缝较发育。距离断层越近,裂缝密度越大;断层下盘破碎带略宽,裂缝密度也略大。综合地震曲率属性与蚂蚁体属性,对新北地区的裂缝进行识别与预测,结果表明:微裂缝在新北地区鼻状构造核部、翼部呈密集发育;裂缝的发育程度与断裂的匹配关系较

好,在断层下盘位置,裂缝密度最大,在紧邻断层上盘位置,裂缝也较为发育,脱离断裂带,裂缝密度最低。完钻井复查同样证实了上述裂缝分布规律。新北地区裂缝型油藏目前获得工业油流井 10 口;8 口井位于鼻状构造核部,1 口井位于鼻状构造翼部,1 口井不在鼻状构造内;6 口井位于断层下盘,4 口井位于断层上盘。

### 3.5.2 成藏模式及资源潜力

依托多尺度裂缝描述与评价以及相干属性、蚂蚁体属性等多参数裂缝地震识别技术,新北地区建立了油源-薄层砂岩-构造等多因素控制的裂缝型油藏成藏模式(图 14),并且已实现多口井的效益开发。新北地区整体处于鼻状构造背景,受压扭应力作用,位于鼻状构造核部、翼部的断裂进一步复杂化,裂缝呈密集发育;青三段和姚二段+姚三段内薄层砂岩发育、累计厚度大、叠加连片,既可作为油气的储集层,同时也增加了地层的岩石脆性,有利于裂缝发育;在新北地区及其紧邻的大安次级凹陷,由青一段、青二段优质烃源岩所生成的油气会沿油源断裂向上运移,在多套裂缝发育层段内聚集成藏,裂缝和薄砂层的发育程度共同控制着油气的富集。

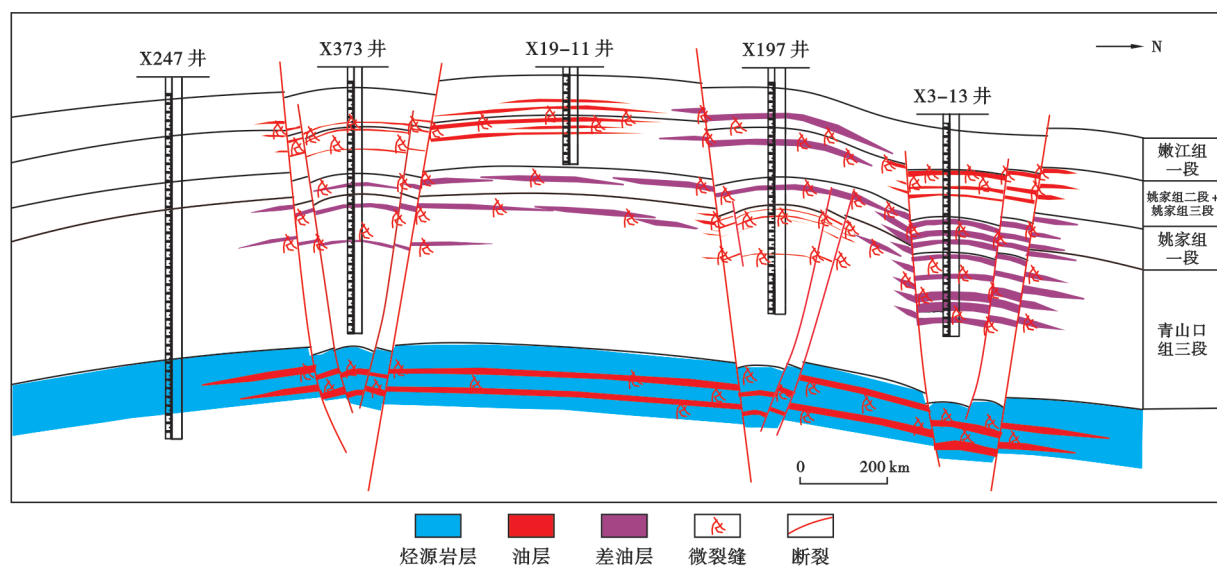


图 14 新北地区裂缝型油藏成藏模式

Fig. 14 Accumulation model of fractured reservoir in Xinbei area

新北地区裂缝型油藏主要发育在青三段、姚二段+姚三段 2 套层系中,其中,青三段圈定的裂缝发育区与薄层砂岩叠合的有利面积为 50 km<sup>2</sup>,姚二段+姚三段圈定的裂缝发育区与薄层砂岩叠合的有利面积为 35 km<sup>2</sup>。

钻井复查发现,在松辽盆地南部的多个反转构造中均揭示有裂缝型油藏发育。大安反转构造带已有 4 口井在裂缝型油藏中试油成功;新北、大安、海坨子 3

个反转构造带的面积达 800 km<sup>2</sup>。此外,在坳陷区发育的断裂带内及周缘也揭示有裂缝型油藏发育。塔虎城地区 T12 井在青二段—青三段裂缝层的试油中获得油流;余字井地区 C34-6 井在青一段裂缝层中获得大于 10 m<sup>3</sup>/d 的工业油流;坳陷区断裂带的面积超过 1500 km<sup>2</sup>。总体上,松辽盆地南部裂缝型油藏具备较大的勘探潜力和攻关前景。

## 4 新领域、新类型油气资源的勘探实践与攻关方向

### 4.1 扶余油层致密油藏的勘探实践及攻关方向

2012年,中国石油吉林油田公司开始对扶余油层致密油藏开展水平井试验攻关,深化了对致密油藏的富集认识,形成了有效储层预测技术、水平井二开浅表套钻完井配套技术、水平井蓄能式体积压裂技术等一系列特色工程技术,实现了降本增效,推动了扶余油层致密油藏的效益动用,并取得多项进展:①让字井区带扶余油层致密油藏累计新增探明储量 $1.3 \times 10^8$  t,累建产能超过 $50 \times 10^4$  t;②新北一庙西区带通过建立水平井大平台开发示范区,扶余油层致密油藏实现了 $4000 \times 10^4$  t控制储量及预测储量的逐步升级动用;③余字井区带的致密油水平井攻关初见成效,初期稳定产油量超过6 t/d,展现了动用开发的潜力。

目前,扶余油层致密油藏的持续攻关仍面临着多个难题:新北一庙西区带泉四段砂体的横向变化较快,保证水平井钻遇率难度较大;与让字井区带相比,余字井等区带中的致密油藏由于埋深大、储层较薄,开发成本增加,效益动用难度增大。鉴于扶余油层致密油藏的剩余资源量大,目前仍是中国石油吉林油田公司近期的重点攻关目标。通过优选新北一庙西、余字井、孤店等致密油藏“甜点区”,持续深化致密油藏的“甜点”认识与识别技术、落实工程配套技术,逐步推进致密油藏“甜点”资源的效益动用。

杨大城子油层致密油藏的研究薄弱,但勘探潜力不容忽视,是致密油藏重要的勘探新领域。杨大城子油层处于扶余油层之下,成藏条件更为苛刻。在借鉴扶余油层致密油成藏理论成果和勘探开发实践经验的基础上,笔者建议应加快推进3方面工作:①系统开展杨大城子油层的基础地质研究,通过开展地层、构造、沉积、储层和成藏研究,明确其成藏模式,进而探明其开发潜力;②加强油气“倒灌”机制和源-储对接关系研究,明确油藏富集的要害,落实“甜点区”的分布特征。③完善致密油的“甜点”识别和工程配套技术,加快水平井先导试验攻关,揭示效益动用潜力,推进储量落实与动用。

### 4.2 长岭页岩油的勘探实践及攻关方向

长岭页岩油仍处于探索攻关阶段。近几年,通过新井、老井并重,直井、水平井并行,页岩油开发取得多项重要进展:①长岭凹陷直井试油20余口,均获得油流,证实了目标页岩层的含油性,同时落实了纵向页岩油“甜点层段”与平面“甜点区”的分布特征;②大情字井夹层型页岩油“甜点区”页岩油的开发先导试验取得

阶段性进展,其中,黑81区块—黑197区块15口水平井初期的稳定产油量超过8 t/d,展现出效益开发的潜力;③余字井及塔虎城页岩型页岩油“甜点区”的水平井先导试验初见成效,但距离实现效益开发仍有较大差距,其中,针对青山口组Q1层“甜点层段”部署的HY平5井,试采379 d的平均产油量为5.5 t/d,累积产油量为2089 t。

长岭页岩油实现规模效益开发主要面临3个挑战:①页岩油基础理论研究相对薄弱,页岩油“甜点”评价体系 and 标准有待完善;②页岩油关键开发技术亟待突破,目前页岩油的钻井周期长、“甜点”钻遇率低,压裂技术尚未定型;③页岩油的生产规律、开发模式和经济性有待进一步落实。为加快长岭页岩油的勘探开发步伐,中国石油吉林油田公司的重点工作包括以下3方面:①加大长岭凹陷页岩油的勘探评价力度,夯实研究基础,深化页岩油成藏认识,尽快控制和落实研究区页岩油“甜点”资源;②加快页岩油开发先导试验节奏,优选余字井、塔虎城2个“甜点区”的2套“甜点层段”(青山口组Q1—Q3层和Q9层),以提高产量、降低成本为核心,突出科技创新、攻关配套技术,形成低成本集约化页岩油开发模式;③遵循“油公司”模式,依托“揭榜挂帅”项目,一体化管理、市场化运作,构建全生命周期管理体系,力争尽快实现长岭页岩油商业突破。

### 4.3 基岩气藏的勘探实践及攻关方向

近两年,中国石油吉林油田公司将松辽盆地南部基岩气藏作为风险勘探重点领域,综合基岩气的成藏主控因素,首选双坨子—乌兰地区源内凸起作为中央古隆起基岩气藏风险勘探的主攻区带。双坨子—乌兰地区源内基岩凸起带具有以下天然气成藏优势:地震剖面显示,侏罗系残余地层强振幅特征清晰、连续性好,石炭系—二叠系顶面不整合特征明显;风化壳界面具有似层状地震反射特征,风化淋滤层和裂缝层双重结构清晰,风化淋滤层和裂缝层的厚度达190~427 m;预测基岩岩性为花岗岩,运用叠前、叠后地震资料预测基岩的裂缝发育程度,显示具有较好的储集性;乌兰凸起邻近哈什坨、伏龙泉残留洼槽,源岩条件好;源岩披覆在基岩凸起带,源-储多方向侧向对接成藏,可形成构造、岩性-构造气藏。2022年,油田公司在双坨子—乌兰地区源内基岩凸起带部署了风险探井FT1井,在基岩层中见到较好的气测显示,测井解释差气层2层、厚度为11.9 m,裂缝含气层4层、厚度为25.1 m,试气获得 $2.2 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d的工业气流,基岩气藏展现出一定的勘探潜力。

目前,中国石油吉林油田公司在松辽盆地南部基岩气藏的勘探取得了不少新进展,但整体仍处于探索

阶段。今后工作重点方向包括:①加强基岩气藏的富集规律研究,进一步明确基岩气藏“甜点区”的分布;②加强基岩有利储层岩性、裂缝预测技术的攻关;③基岩储层物性较低,直井产气量偏低,应加强水平井提产技术的攻关。

#### 4.4 煤层气藏的勘探实践及攻关方向

中国石油吉林油田公司将松辽盆地南部煤层气资源作为 2023 年重点风险勘探领域,并针对王府断陷火石岭组煤层气,通过基础研究与有利目标优选,部署了风险探井 FUT1H 井,揭示松辽盆地南部煤层气勘探潜力。

松辽盆地南部煤层气的资源潜力大,是重要的新型天然气资源,但整体处于探索阶段,基础研究及勘探实践均较薄弱。笔者建议应着重推进以下 3 方面工作:①加强盆地东南缘九台成煤带多个煤矿区的调研工作,进一步落实东南隆起区的煤岩发育特征与分布范围。②开展东南隆起区完钻老井的系统复查工作,在明确煤岩发育规律的基础上,优选有利老井,开展试气工作,揭示煤层气井的产气特征;③加快风险探井的部署及钻探,通过导眼井系统取心、水平段提产试验,明确松辽盆地南部煤层气勘探前景。

#### 4.5 裂缝型油藏的勘探实践及攻关方向

目前,松辽盆地南部裂缝型油藏的研究尚处于探索阶段。2023 年,中国石油吉林油田公司分别针对新北地区裂缝发育区、坳陷区断裂带周边裂缝发育区部署了 2 口探井,通过系统资料的录取,推进了裂缝型油藏的研究认识。下一步将着重开展以下 6 方面的工作:①深化裂缝形成机理研究,特别是反转构造与坳陷区裂缝发育机理差异的研究,完善裂缝发育模式;②开展裂缝型油藏储集特征研究,明确储集类型和储集空间类型,开展储集层分类评价;③开展裂缝识别技术攻关,地质、测井和物探相结合,提高裂缝识别精度;④针对不同类型的裂缝型油藏开展成藏规律研究,建立油气富集模式,优选主攻区带;⑤开展裂缝型油藏储量评价研究,建立适用评价标准,落实勘探潜力;⑥开展裂缝型油藏钻完井和压裂技术攻关,形成适用的配套技术。

## 5 结 论

(1) 扶杨油层致密油藏具有“上生下储、超压排烃、倒灌成藏”的特征。致密油藏富集的主控因素包括 3 方面:鼻状构造背景有利于油气富集;油层厚度大、连续性较好,保证了水平井较高的油层钻遇率;溶解气油比较高,地层能量较足,有利于油气产出。扶余油层致密油“甜点区”主要位于让字井、新北一庙西、余字井、孤店和大情字井 5 个区带。

(2) 长岭凹陷青一段和青二段的页岩岩相可划分为 3 类,其中,长英质页岩的 TOC 含量适中,脆性矿物含量高,为最有利岩相。页岩油“甜点区”的平面分布整体受沉积体系控制,由南向北依次为大情字井区三角洲前缘相带、余字井区前三角洲一半深湖相带、塔虎城深湖相带,纵向上则包括上、下 2 个页岩油“甜点层段”,分别对应水进期和水退期沉积。

(3) 中央古隆起带的基岩包括 3 类 8 种主要岩石类型,其中,花岗岩的物性最佳。风化壳淋滤层中孔隙-裂缝型储集空间发育,为最有利储层。依据源-储配置关系,中央古隆起基岩气藏的成藏模式可划分为 3 种对接模式和 5 种配置关系,其中以源内背斜披覆型基岩气成藏模式最优。双坨子—乌兰源内基岩凸起带的成藏条件优越,可作为基岩气藏风险勘探的主攻区带。

(4) 松辽盆地南部深部煤层处于大规模生气阶段,吸附气和游离气的总量为  $21.86 \text{ m}^3/\text{t}$ ,  $V_L$  平均为  $18.34 \text{ m}^3/\text{t}$ ,  $p_L$  平均为  $4.05 \text{ MPa}$ ,具有吸附气与游离气共存,吸附能力强,易于解吸的特点。王府断陷煤层气的成藏条件优越,可作为近期重点风险勘探区带。

(5) 新北地区历经嫩江期沉积末期和明水组沉积末期 2 期构造反转运动,形成鼻状构造。其中,青三段、姚二段+姚三段内薄层砂岩发育,地层脆性大,裂缝发育。青一段、青二段优质烃源岩生成的油气沿油源断裂向上运移,在多套裂缝发育层段内聚集成藏。

(6) 松辽盆地南部 5 种油气资源类型均具有较大开发潜力。目前,扶杨油层致密油藏已开发动用,处于拓展勘探开发阶段,可作为近期重点油气攻关领域;长岭页岩油也已获得工业突破,处于先导试验攻关阶段,重点应加快配套开发技术攻关,尽快实现商业突破;其他 3 种油气资源仍处于探索阶段,重点应着力加强勘探理论认知,评价其资源潜力,优选有利区带,揭示勘探开发前景。

## 参 考 文 献

- [1] 曲福生. 松辽盆地南部油气勘探成果概述[J]. 石油物探, 1989, 28(3): 52-60.  
QU Fusheng. An overview of achievement in oil/gas exploration in southern Songliao Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1989, 28(3): 52-60.
- [2] 曲福生. 松辽盆地石油和天然气勘查史[M]. 北京:地质出版社, 1992: 1-129.  
QU Fusheng. History of oil and gas exploration in Songliao Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-129.
- [3] 张本福. 松辽盆地南部几种背斜翼部油气藏[J]. 石油勘探与开发, 1987(3): 23-29.  
ZHANG Benfu. A few types of oil (gas) reservoirs located in the



- flanks of an anticline in southern part of Songliao Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1987(3): 23-29.
- [4] 王建功, 卫平生, 郑浚茂, 等. 挠曲坡折带特征与油气勘探——以松辽盆地南部为例[J]. *石油学报*, 2005, 26(2): 26-29.  
WANG Jianguo, WEI Pingsheng, ZHENG Junmao, et al. Features of flexure slope break and oil-gas exploration in the south of Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(2): 26-29.
- [5] 侯启军. 深盆油藏: 松辽盆地扶杨油层油藏形成与分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.  
HOU Qijun. Distribution of deep basin oil: formation and division of Fuyang oil reservoir in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [6] 侯启军. 南北辉映 气贯松辽——吉林油田公司长岭断陷长深 1 井发现纪略[J]. *中国石油企业*, 2006(3): 45-46.  
HOU Qijun. Discovery history of Changshen 1 well in Changling fault depression, Jilin Oilfield Company[J]. *China Petroleum Enterprise*, 2006(3): 45-46.
- [7] 侯启军, 魏兆胜, 赵占银, 等. 松辽盆地的深盆油藏[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(4): 406-411.  
HOU Qijun, WEI Zhaosheng, ZHAO Zhanyin, et al. Deep Basin reservoir in Songliao Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(4): 406-411.
- [8] 邹才能, 陶士振, 张有瑜. 松辽南部岩性地层油气藏成藏年代研究及其勘探意义[J]. *科学通报*, 2007, 52(19): 2319-2329.  
ZOU Caineng, TAO Shizhen, ZHANG Youyu. Research on accumulation period and exploration significance of lithostratigraphic reservoirs in south Songliao Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(19): 2319-2329.
- [9] 毛超林, 赵占银, 马玉天, 等. 松辽盆地南部岩性油藏特征及勘探潜力[J]. *中国石油勘探*, 2005, 10(6): 1-5.  
MAO Chaolin, ZHAO Zhanyin, MA Yutian, et al. Features and exploration potential of lithologic oil reservoirs in southern Songliao Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2005, 10(6): 1-5.
- [10] 徐兴友, 刘卫彬, 陈珊, 等. 松辽盆地南部陆相页岩油气勘查突破及意义[J]. *天然气工业*, 2022, 42(3): 12-20.  
XU Xingyou, LIU Weibin, CHEN Shan, et al. Breakthroughs in continental shale oil and gas exploration in the southern Songliao Basin and its implications for carbon neutrality[J]. *Natural Gas Industry*, 2022, 42(3): 12-20.
- [11] 卢双舫, 黄文彪, 陈方文, 等. 页岩油气资源分级评价标准探讨[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(2): 249-256.  
LU Shuangfang, HUANG Wenbiao, CHEN Fangwen, et al. Classification and evaluation criteria of shale oil and gas resources: discussion and application[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 249-256.
- [12] 赵文智, 胡素云, 董大忠, 等. “十五”期间中国油气勘探进展及未来重点勘探领域[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(5): 513-520.  
ZHAO Wenzhi, HU Suyun, DONG Dazhong, et al. Petroleum exploration progresses during the 10th Five-Year Plan and key exploration domains for the future in China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(5): 513-520.
- [13] 孙立东, 周翔, 杨亮, 等. 松辽盆地莺山地区深层天然气地球化学特征与成藏模式[J]. *石油学报*, 2023, 44(2): 285-298.  
SUN Lidong, ZHOU Xiang, YANG Liang, et al. Geochemical characteristics and accumulation model of deep gas in Yingshan area, Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2023, 44(2): 285-298.
- [14] 朱国文, 王小军, 张金友, 等. 松辽盆地陆相页岩油富集条件及勘探开发有利区[J]. *石油学报*, 2023, 44(1): 110-124.  
ZHU Guowen, WANG Xiaojun, ZHANG Jinyou, et al. Enrichment conditions and favorable zones for exploration and development of continental shale oil in Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2023, 44(1): 110-124.
- [15] 魏志平, 毛超林, 孙岩, 等. 松辽盆地南部大情字井地区油气成藏过程分析[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(3): 11-12.  
WEI Zhiping, MAO Chaolin, SUN Yan, et al. Oil and gas accumulation process in Daqingzi region of southern Songliao Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(3): 11-12.
- [16] 邹才能, 朱如凯, 吴松涛, 等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J]. *石油学报*, 2012, 33(2): 173-187.  
ZOU Caineng, ZHU Rukai, WU Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(2): 173-187.
- [17] 邹才能. 非常规油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2011: 1-310.  
ZOU Caineng. Unconventional petroleum geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 1-310.
- [18] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(2): 129-136.  
JIA Chengzao, ZHENG Min, ZHANG Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(2): 129-136.
- [19] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 343-350.  
JIA Chengzao, ZOU Caineng, LI Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 343-350.
- [20] 唐振兴, 赵家宏, 王天煦. 松辽盆地南部致密油“甜点区(段)”评价与关键技术应用[J]. *天然气地球科学*, 2019, 30(8): 1114-1124.  
TANG Zhenxing, ZHAO Jiahong, WANG Tianxu. Evaluation and key technology application of “sweet area” of tight oil in southern Songliao Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2019, 30(8): 1114-1124.
- [21] 柳波, 孙嘉慧, 张永清, 等. 松辽盆地长岭凹陷白垩系青山口组一段页岩油储集空间类型与富集模式[J]. *石油勘探与开发*, 2021, 48(3): 521-535.  
LIU Bo, SUN Jiahui, ZHANG Yongqing, et al. Reservoir space and enrichment model of shale oil in the first Member of Cretaceous Qingshankou Formation in the Changling sag, southern Songliao Basin, NE China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(3): 521-535.
- [22] 孙立东, 孙国庆, 杨步增, 等. 松辽盆地北部中央古隆起带古潜山天然气成藏条件[J]. *天然气工业*, 2020, 40(3): 23-29.  
SUN Lidong, SUN Guoqing, YANG Buzeng, et al. Hydrocarbon accumulation conditions of the buried hills in the central paleo-uplift belt of the northern Songliao Basin[J]. *Natural Gas Indus-*

- try, 2020, 40(3): 23-29.
- [23] 杜金虎. 松辽盆地中央古隆起带(北部)天然气成藏条件分析及勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(5): 1-14.  
DU Jinhui. Analysis of natural gas accumulation conditions and exploration perspective in the central paleo-uplift belt (north), Songliao Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2017, 22(5): 1-14.
- [24] 白连德, 邵明礼, 尹永康, 等. 松辽盆地中央古隆起带南部基岩储层特征及油气成藏模式[J]. 世界地质, 2021, 40(2): 364-374.  
BAI Liande, SHAO Mingli, YIN Yongkang, et al. Characteristics of basement rock reservoir in southern central paleo-uplift belt of Songliao Basin and its hydrocarbon accumulation models[J]. Global Geology, 2021, 40(2): 364-374.
- [25] 向钰铄. 松辽盆地中央古隆起带南部基岩风化壳型储层特征及油气成藏模式[D]. 长春: 吉林大学, 2022: 10-39.  
XIANG Yushu. Reservoir characteristics and hydrocarbon accumulation model of bedrock weathering crust in southern part of central paleo-uplift belt, Songliao Basin [D]. Changchun: Jilin University, 2022: 10-39.
- [26] 刘朝露, 李剑, 夏斌, 等. 松辽盆地南部深层天然气藏地化特征[J]. 天然气工业, 2006, 26(2): 36-39.  
LIU Zhaoxia, LI Jian, XIA Bin, et al. Geochemical characteristics of deep gas reservoirs in south Songliao Basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(2): 36-39.
- [27] 张玉明, 李明, 李瑞磊. 松辽盆地南部深层系天然气成藏规律[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 841-848.  
ZHANG Yuming, LI Ming, LI Ruilei. Reservoiring pattern of natural gas in deep of southern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 841-848.
- [28] 瞿雪姣, 王璞珺, 姚瑞士, 等. 松辽盆地南部火石岭组地层序列划分与区域对比[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2014, 45(8): 2716-2727.  
QU Xuejiao, WANG Pujun, YAO Ruishi, et al. Stratigraphical sequence and regional correlation of Huoshiling Formation in southern Songliao Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2014, 45(8): 2716-2727.
- [29] 李舟波, 潘保芝, 范晓敏, 等. 地球物理测井数据处理与综合解释[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1-176.  
LI Zhoubo, PAN Baozhi, FAN Xiaomin, et al. Geophysical logging data processing and comprehensive interpretation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 1-176.
- [30] 雍世和, 张超谟. 测井数据处理与综合解释[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996.  
YONG Shihe, ZHANG Chaomo. Logging data processing and comprehensive interpretation[M]. Dongying: Petroleum University Press, 1996.

(收稿日期 2023-07-14 改回日期 2023-10-16 编辑 雷永良)