



## 松辽盆地及外围油气资源基础地质调查 ——“十三五”阶段进展与未来工作展望

陈树旺<sup>1</sup>, 许光<sup>2</sup>, 杨建国<sup>1</sup>, 李永飞<sup>1</sup>, 张健<sup>1</sup>, 赵洪伟<sup>1</sup>, 公繁浩<sup>1</sup>,  
孙守亮<sup>1</sup>, 李士超<sup>1</sup>, 苏飞<sup>1</sup>, 张文浩<sup>3</sup>, 王丹丹<sup>3</sup>, 张交东<sup>3</sup>

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 中国地质调查局, 北京 100083;  
3. 中国地质调查局 油气资源调查中心, 北京 100083

**摘 要:** “十三五”期间, 松辽盆地及外围油气地质调查以“开辟新区, 探索新层系, 联合攻关新类型、新领域, 支撑百年大庆油田建设”为目标, 紧密围绕“松辽盆地陆相页岩油、外围中小盆地、石炭-二叠系与中新元古界深层系”三大领域, 取得了一系列发现与进展: 一是以基质型页岩油为主攻方向, 实施页岩油参数井获工业油流, 揭示松辽盆地陆相页岩油巨大资源潜力; 二是阜新盆地辽阜地 2 井获工业油流, 实现久攻不克区勘探突破, 为传统煤炭资源枯竭型城市转型发展提供资源保障; 三是以深层系、非常规为指导思想, 实施石炭-二叠系与中新元古界油气资源调查取得新进展。结合新形势、新需求, 提出“全盆地、大地质、多资源”综合调查等下阶段工作方向。

**关键词:** 油气地质; 松辽盆地; 陆相页岩油; 石炭-二叠系; 中新元古界; 非常规油气

## FOUNDATIONAL GEOLOGICAL SURVEY FOR OIL AND GAS RESOURCES IN SONGLIAO BASIN AND ITS PERIPHERY AREAS: Progress and Prospect

CHEN Shu-wang<sup>1</sup>, XU Guang<sup>2</sup>, YANG Jian-guo<sup>1</sup>, LI Yong-fei<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>1</sup>, ZHAO Hong-wei<sup>1</sup>, GONG Fan-hao<sup>1</sup>,  
SUN Shou-liang<sup>1</sup>, LI Shi-chao<sup>1</sup>, SU Fei<sup>1</sup>, ZHANG Wen-hao<sup>3</sup>, WANG Dan-dan<sup>3</sup>, ZHANG Jiao-dong<sup>2</sup>

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100083, China;  
3. Oil & Gas Resources Survey Center, CGS, Beijing 100083, China

**Abstract:** The foundational geological survey for oil and gas in Songliao Basin and its periphery area aims at exploration of new areas, new strata, new types and new fields to support the century-long production of Daqing Oilfield. Investigations focus on the shale oil of continental facies, small-middle basins in surroundings and Carboniferous-Permian and Meso-Neoproterozoic formations. Significant progress has been achieved as follows: Industrial oil flow is obtained from parameter wells for matrix type of continental facies oil, revealing great potential resources of continental shale oil in Songliao Basin; The LFD2 well in Fuxin Basin yields industrial oil flow, which

收稿日期: 2021-05-31; 修回日期: 2021-06-04. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“松辽外围西部盆地油气基础地质调查”(DD20160163); “松辽外围南部盆地群油气基础地质调查”(DD20160167); “大庆齐家古龙地区页岩油气战略调查与评价”(DD2017961); “松辽外围东部盆地群油气基础地质调查”(DD20160165); “松辽盆地北部及外围石炭-二叠系油气地质调查”(DD20190097).

作者简介: 陈树旺(1964—), 男, 博士, 研究员, 从事油气基础地质调查研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//sycswgeology@163.com

通信作者: 许光(1984—), 男, 博士, 高级工程师, 从事油气地质调查与管理工作, 通信地址 北京市西城区阜外大街 45 号, E-mail//249370720@qq.com

breaks through the difficulties of exploration in small-middle basins and will supply alternative resources for the resource-exhausted city; Achievement is made from foundational geological survey on deep formation and unconventional oil-gas in Carboniferous-Permian and Meso-Neoproterozoic strata. A comprehensive survey on the whole basin with all subjects for multiple resources is suggested to meet the new requirement and circumstances.

**Key words:** petroleum geology; Songliao Basin; continental shale oil; Carboniferous-Permian; Meso-Neoproterozoic; unconventional oil-gas

中国东北地区是重要的油气产区,油气勘探集中部署于松辽盆地及部分外围盆地,主要目的层为白垩系和古近系<sup>[1-4]</sup>。半个世纪以来的连续开采已使盆地内油气勘探进入高成本、高难度阶段,面临后备油气资源枯竭的紧迫威胁,亟待开展“四新领域”的调查研究工作<sup>[5-8]</sup>。近年来,为提升国内油气资源保障能力、降低对外依存度,域内的石油勘探公司以及公益性地质调查部门和相关大学与研究机构的学者,紧密围绕东北地区油气勘探需求,针对松辽盆地及外围重大油气理论与技术问题,开展了持续而卓有成效的调查研究工作<sup>[9-19]</sup>。本文阐述“十三五”(2016—2020年)期间公益性油气基础地质调查进展及对下步工作的思考。

## 1 油气基础地质调查工作概况

松辽盆地及外围油气基础地质调查工作始于2008年,工作初期主要集中在以大兴安岭中南部为代表的外围地区。这类区域主要特点是基础性调查研究程度低,缺乏必要油气地质资料,加之大面积火山岩覆盖,一直是油气矿权登记空白区。初期地质调查以“开辟新区、探索新层系,力争油气发现、引领商业勘探”为工作方向,取得了包括突参1井侏罗系轻质原油在内的一系列阶段性成果认识与重要发现<sup>[14-18]</sup>。

近5年来,松辽盆地及外围油气基础地质调查工程紧密围绕“松辽盆地陆相页岩油、外围中小盆地、石炭-二叠系与中新元古界深层系”三大领域,针对白垩系、侏罗系、石炭-二叠系和中新元古界4套层系,部署“松辽外围西部盆地群油气基础地质调查”“松辽外围南部盆地群油气基础地质调查”“松辽外围东部断陷盆地群油气基础地质调查”“大庆齐家-古龙地区页岩油气战略调查与评价”等4个地质调查项目,开展了1:25万油气基础地质调查、土壤油气化探、地球物理勘探,以及地质调查井钻探、页岩油参数井钻探等工作(图1)。在陆相页岩油、外围中小盆地与深层系油气

调查等方面,取得重要突破及显著进展<sup>[18-24]</sup>。

## 2 松辽盆地北部陆相页岩油资源调查重大突破

松辽盆地是中国最重要油气产区,拥有大庆油田等四家大型国有石油企业。经过半个多世纪的连续开采,面临后备接替资源严重不足问题,制约了区域油气可持续发展和“百年大庆油田”建设<sup>[4,24-30]</sup>。2016年以来,中国地质调查局组织沈阳地质调查中心、油气资源调查中心与中石油大庆油田公司、中石化中原油田等十余家单位开展陆相页岩油攻关,取得了突破性进展。

### 2.1 地质背景与前人工作基础

松辽盆地上白垩统泥页岩分布面积广,沉积厚度大,有机质丰度高,埋深适中,页岩油资源前景较好<sup>[25-27]</sup>(据国土资源部2009—2012年资料,其页岩油资源量约为 $131.93 \times 10^9$  t)。前人在松辽盆地北部上白垩统青山口组泥页岩油勘探研究中,积累了丰富资料和宝贵经验<sup>[22,25-30]</sup>。相关泥岩裂缝油气显示最早见于20世纪60年代,在古龙地区钻井取心发现泥岩层段有泥页岩层理面渗油现象,揭开了泥页岩油勘探序幕。1981年Y12井在青山口组泥岩层首获工业油流;1983—1988年先后有Y18与H16井获工业油流;1998年在古龙凹陷实施了水平段长1001.50 m的GP1井,试油产量1.51 t/d。2011年以泥岩为主夹薄砂层为目标,部署于齐家南杏西地区QP1井压后获得油产量10.2 t/d。

### 2.2 基质型陆相页岩油的认识与发现

#### 2.2.1 陆相页岩油参数井部署

以“获得松辽盆地青山口组页岩油工业油流、系统取全取准各项参数资料、深化成藏机理与赋存规律认识、探索页岩油钻完井与试油压裂工艺”为目的,与大庆油田合作,利用岩性、物性、电性、含油气性、烃源岩、脆性和地应力等特征,确定齐家凹陷和古龙凹陷是页岩油有利区;通过有机质丰度、成熟度、含油量、裂缝、

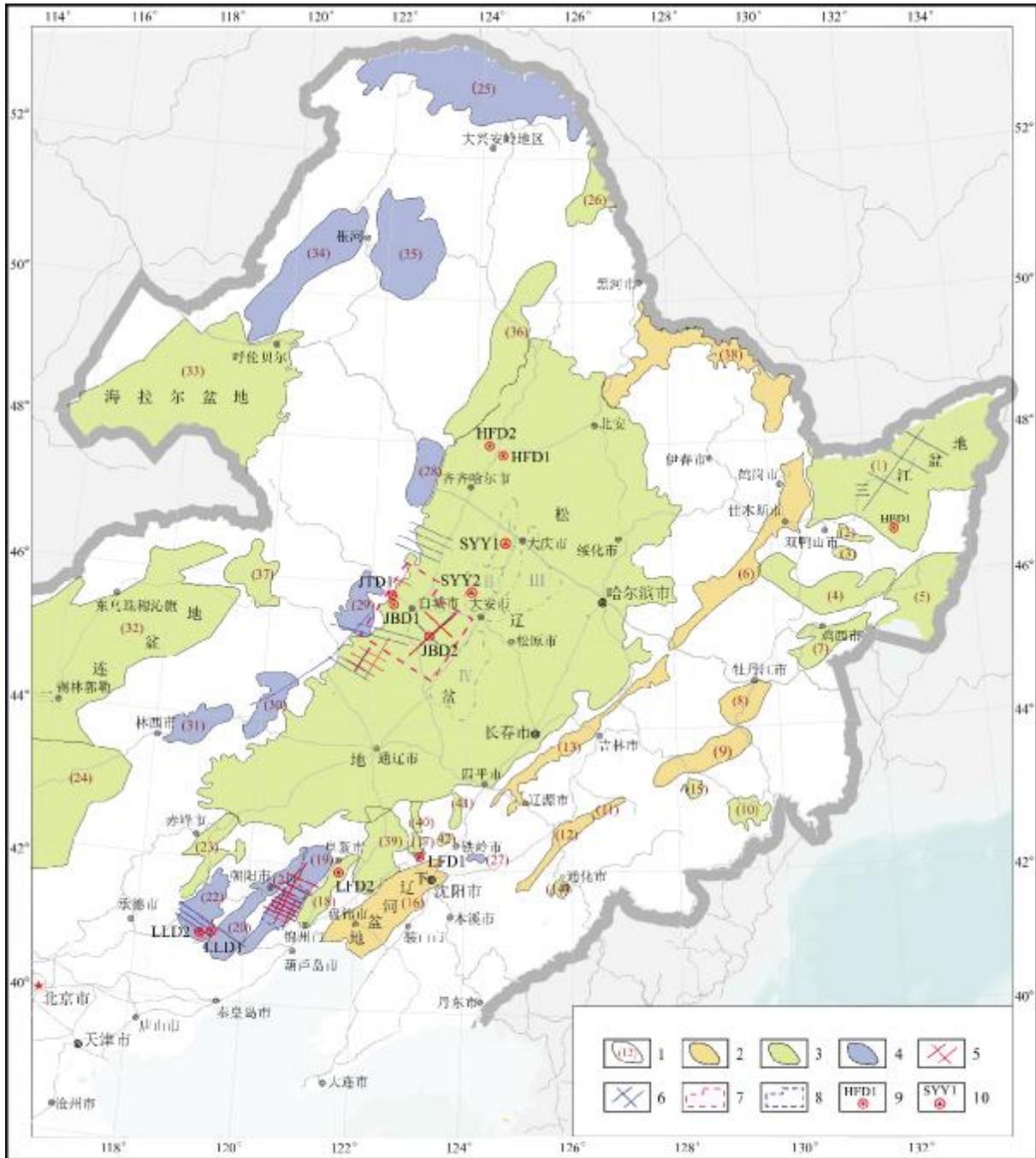


图 1 松辽盆地及外围油气基础地质调查 2016—2018 年度工作部署

Fig. 1 Deployment map of geological survey for oil and gas in Songliao Basin and its periphery areas during 2016–2018

1—盆地编号(basin and number); 2—古近纪盆地(Paleogene basin); 3—白垩纪盆地(Cretaceous basin); 4—侏罗纪盆地(Jurassic basin); 5—非震物探测线(non-seismic exploration line); 6—二维地震测线(2-D seismic exploration line); 7—土壤油气化探区(soil oil-gas geochemical exploration area); 8—重磁面积性测量区(gravity-magnetic survey area); 9—地质调查井(geological survey well); 10—页岩油参数井(shale oil parameter well); 松辽盆地主要凹陷编号及名称 (major depressions in Songliao Basin): I—齐家凹陷, II—古龙凹陷, III—三肇凹陷, IV—长岭凹陷; 松辽外围盆地编号及名称 (basins in periphery of Songliao Basin): (1)三江盆地, (2)双鸭山盆地, (3)红卫盆地, (4)勃利盆地, (5)虎林盆地, (6)方正盆地, (7)鸡西盆地, (8)宁安盆地, (9)大甸子盆地, (10)延吉盆地, (11)桦甸盆地, (12)柳河盆地, (13)伊通盆地, (14)通化盆地, (15)松江盆地, (16)下辽河盆地, (17)秀水盆地, (18)阜新一义县盆地, (19)金岭寺-羊山盆地, (20)建昌盆地, (21)北票盆地, (22)凌源-宁城盆地, (23)平庄-三十家子盆地, (24)浑善达克盆地, (25)漠河盆地, (26)呼玛盆地, (27)高力板凹陷, (28)龙江盆地, (29)突泉盆地, (30)扎鲁特盆地, (31)林西盆地, (32)二连盆地, (33)海拉尔盆地, (34)拉布达林盆地, (35)根河盆地, (36)大杨树盆地, (37)贺斯格乌拉盆地, (38)孙吴-嘉荫盆地, (39)彰武-新民凹陷, (40)张强凹陷, (41)昌图盆地, (42)铁法断陷

压力和脆性等参数明确了杏西地区和巴彦查干地区为页岩油勘探靶区,分别部署了松页油1井、松页油2井(图1)<sup>[21,24]</sup>。

松页油1井部署于松辽盆地中央拗陷区齐家凹陷南部,井别为参数井,井型为直井,完井井深2 547.00 m。目的层为青山口组一段和青二三段下部泥岩段,完钻层位泉头组四段。该井实钻目的层青一段深度为2 357~2 448 m,厚91 m。

松页油2井部署于松辽盆地中央拗陷区古龙凹陷南部,井别为参数井,井型为直井,完钻井深2 350 m。目的层青一段和青二三段下部泥页岩段,完钻层位泉三段。该井实钻目的层青一段深度为2 060~2 154 m,厚94 m。

### 2.2.2 陆相页岩油层划分标准的初步建立

借鉴国内和国际页岩油勘探实践,结合松辽盆地泥岩储层特点及页岩油的产能,初步制定了松辽盆地北部页岩油储层划分标准(表1):

I类泥页岩油层  $TOC > 2.0\%$ ,  $S_1 > 2.0 \times 10^{-3}$ , 储集性  $\Phi \geq 7\%$ ,  $K > 0.1$  mD, 预期产量工业油流; II类泥页岩油层  $TOC$  在  $1.0\% \sim 2.0\%$  之间,  $S_1$  在  $0.5 \times 10^{-3} \sim 2.0 \times 10^{-3}$  之间, 储集性  $\Phi$  介于  $4\% \sim 7\%$ ,  $K$  介于  $0.01 \sim 0.1$  mD, 预期产量低产油流; III类泥页岩油层  $TOC < 1.0\%$ ,  $S_1 < 0.5 \times 10^{-3}$ , 储集性  $\Phi \leq 4\%$ ,  $K \leq 0.01$  mD, 预期产量较少。此标准有待日后工作进一步调整完善。

表1 松辽盆地页岩油储层划分标准

Table 1 Industrial classification criterion for shale oil reservoir in Songliao Basin

分类	含油性		储集性	预期产量
	TOC/%	$S_1/10^{-3}$		
I类泥页岩油层	>2.0	>2.0	$\Phi \geq 7\%$ $K > 0.1$ mD	工业油流
II类泥页岩油层	1.0~2.0	0.5~2.0	$\Phi$ : 4%~7% $K$ : 0.01~0.1 mD	低产油流
III类泥页岩油层	<1.0	<0.5	$\Phi \leq 4\%$ $K \leq 0.01$ mD	少量

### 2.2.3 基质型陆相地页岩油层的认识与发现

松页油1井和松页油2井取心表明,青山口组一段的岩性以含砂泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,脆性矿物与泥质和有机质呈互层状分布。青一段泥岩储层主要发育粒间溶蚀孔隙,以微米孔和纳米孔为主,还发育有微裂缝和层理缝,页岩油可能以游离态、溶解

态和吸附态存在于其中。

进一步的岩心及核磁和数字岩心分析认为,青山口组一段发育基质型页岩油储层,储存空间主要为粒间溶蚀孔隙,以微米孔和纳米孔为主,孔隙具有双峰式结构;青一段泥岩的孔隙度和孔隙半径以及含油气性总体具有随深度增加而增大的趋势(表2)。

表2 松页油1井85、86、87层物性特征表

Table 2 Physical characteristics of shale oil layers 85, 86 and 87 in SYY1 well

层号	深度/m	总孔隙度/%	微米孔		纳米孔	
			孔隙度/%	占比/%	孔隙度/%	占比/%
85	2405.55	5.75	0.54	9.39	5.21	90.61
85	2413.15	7.91	1.86	23.49	6.05	76.51
87	2421.80	8.23	1.62	19.70	6.61	80.30

基于上述事实,转变以“泥岩裂缝型”为主的勘探传统观念,提出基质型页岩油为主攻方向,认为深湖区巨厚的纹层型泥岩、韵律型泥岩具有丰富的页岩油资源潜力,齐家-古龙-三肇凹陷蕴含丰富的页岩油资源。参照页岩油储层划分标准(表1)确认两口参数井的页岩油层发育情况:松页油1井青一段至青二三段下部层位发育I类页岩油层50.5 m/4层,II类页岩油层19.8 m/2层;松页油2井青一段至青二三段下部层位发育I类页岩油层57.6 m/3层,II类页岩油层78.8 m/4层。

### 2.3 松页油1、2井获页岩油工业油流

以基质型陆相页岩油为目的层,针对陆相泥页岩储层黏土矿物含量较高,支撑剂易嵌入、地层塑性较强、加砂难度大、易砂堵,以及应力差值较大难以形成复杂缝网和储层物性较差、压裂液返排难度大等难点,结合地层破裂压力、压力梯度等工程参数,采取针对性的射孔方案、测试方式和压裂规模,松页油1、2井先后获得压裂试油成功<sup>[21,24]</sup>。

2017年9月,对松页油1井的下段85、87层定时、定抽、定产量。实测地层压力33.98 MPa,压力系数1.44,为高压储层;温度为103.7℃,地温梯度为3.61℃/100 m,为正常地温梯度系统。压后求产取值:抽深2100 m/动液面1900 m/36次,套压2 MPa,产油3.22 m<sup>3</sup>/d,少量气。根据《SYT6293—2008 勘探试油工作规范》标准,为工业油层。

2017年10月,对松页油2井35、36、37层定时、定抽、定产量.实测地层压力27.06 MPa,压力系数1.33,为高压储层;温度为101.9℃,地温梯度为4.08℃/100 m,为正常地温梯度系统.压后求产取值:抽深1850~1990 m/动液面1790 m/36次,套压2.2 MPa,产油4.93 m<sup>3</sup>/d,微量气.根据《SYT6293—2008 勘探试油工作规范》标准,为工业油层.

上白垩统青山口组泥页岩层获得工业油流,转变了泥岩裂缝为主的传统页岩油勘探思路,明确了基质型页岩油为主攻方向,指出深湖区巨厚的纹层型泥岩、韵律型泥岩具有丰富的页岩油资源潜力.在松页油1井、松页油2井直井钻探基础上实施的开窗侧钻水平井——松页油1HF和松页油2HF井,陆续获得水平井钻探和压裂试油的成功,极大地促进了松辽盆地页岩油勘探工作,对资源潜力巨大的页岩油勘探开发具有重要的指导意义<sup>[21-22, 24, 29-30]</sup>,为支持百年大庆油田建设提供了接续油气资源,将有助于中国非常规油气勘探领域实现“南气北油”的战略格局.

### 3 松辽外围中小盆地调查重要进展

#### 3.1 外围中小盆地评价优选

对松辽外围改造型盆地,以盆地或凹陷面积、沉积岩厚度、有效烃源岩厚度、储层厚度、盖层厚度、最大圈闭、含油气系统配置关系等为参数,应用当前地质调查成果,进行松辽外围盆地油气远景区和有利目标区的优选.评价优选出I类盆地1个,II类盆地12个,III类盆地10个(表3).其中阜新盆地最优;金羊盆地、三江盆地、延吉盆地、辽源盆地、商都盆地和秀水盆地,优于其他盆地.

#### 3.2 阜新盆地辽阜地2井获高产工业油流

阜新盆地是松辽盆地外围久攻不克的代表,具有“关注早、投入高、难度大”特征.1939—1945年间,日本人以油气苗与浅层油气为主在东梁构造共钻浅孔61口,有4口井见油和少量天然气;1954—1959年间松辽石油勘探局在东梁构造钻井4口,有两口井见少量油流;1980—1996年以中深层油气勘探为主,约600口煤田浅孔见有不同程度油气显示,油田探井9口见油气显示.但总的特点是油气藏破坏严重,未能形成勘探突破,可谓“口口见油、口口不流”,1996年以后阜新盆地停止油气勘探<sup>[23, 31-34]</sup>.

表3 松辽外围中小盆地优选及分类表

Table 3 Classification and optimization for small-middle basins outside Songliao Basin

序号	盆地	排队系数/10 <sup>-4</sup>	分类
1	阜新盆地	664.45	I
2	金羊盆地	220.08	II
3	三江盆地	129.15	II
4	延吉盆地	122.31	II
5	辽源盆地	83.2	II
6	浑善达克盆地	36.04	II
7	商都盆地	34.61	II
8	柳河盆地	10.89	II
9	秀水盆地	10.63	II
10	四子王旗盆地	9.49	II
11	通化盆地	8.92	II
12	宁安盆地	7.04	II
13	双阳盆地	5.48	II
14	宁城盆地	2.86	III
15	双鸭山盆地	1.76	III
16	红庙子盆地	1.71	III
17	高力板凹陷	1.15	III
18	松江盆地	1	III
19	多伦盆地	0.83	III
20	达茂旗盆地	0.37	III
21	蓝旗盆地	0.33	III
22	根河盆地	0.32	III
23	凌源盆地	0.24	III

在详细收集整理有关基础地质、煤田、石油勘探资料总结前人勘探经验基础上,针对盆地构造改造强烈、目的层系分布状况不明、油气藏遭受破坏、油气藏主控因素及富集规律认识不清等问题,编制了阜新盆地地层、构造、目的层厚度、代表性探井的联井剖面、构造圈闭等50余套反映阜新盆地油气地质特征的系列图件.

#### 1) 烃源岩特征

阜新盆地自下而上发育下白垩统九佛堂组、沙海组2套主要的烃源岩,岩性包括暗色泥岩、碳质泥岩和煤,其中暗色泥岩主要发育在九下段、九上段及沙上段,碳质泥岩及煤主要发育在沙下段.

前人钻井主要位于构造高部位,且样品数据有限.研究表明<sup>[23, 31-33]</sup>,阜参1井沙海组TOC值为1.25%~

2.48%, 氯仿沥青“A”值为 0.0270%~0.0960%, 总烃含量为  $179.12 \times 10^{-6}$ ~ $657.49 \times 10^{-6}$ ; 而九佛堂组 TOC 值为 1.07%, 氯仿沥青“A”值为 0.0110%, 总烃含量为  $62.80 \times 10^{-6}$ 。阜参 2 井沙海组 TOC 值为 0.48%~2.93%, 氯仿沥青“A”值为 0.0160%~0.1060%, 总烃含量为  $96.35 \times 10^{-6}$ ~ $523.42 \times 10^{-6}$ ; 而九佛堂组 TOC 值为 1.66%, 氯仿沥青“A”值为 0.0820%, 总烃含量为  $564.73 \times 10^{-6}$ 。九佛堂组烃源岩有机质类型主要为 II 型, 少量为 III 型, 极少数样品已达到 I 型烃源岩的标准, 其 H/C 原子比较高, 碳同位素值多小于  $-24\text{‰}$ ; 沙海组烃源岩有机质类型以 III 型为主, 其 H/C 原子比较低, 碳同位素值也相对偏大。九佛堂组烃源岩多处于高成熟阶段, 沙海组烃源岩多处于成熟阶段。九佛堂组和沙海组烃源岩是阜新盆地两套主要的生烃层系, 二者均可能是阜新盆地沙海组储层中原油的油源岩。

## 2) 储层特征

相关研究表明<sup>[23, 31-33]</sup>, 阜新盆地发育有沙海组砂质碎屑岩、九佛堂组泥岩、义县组火山岩和蓟县系雾迷山组白云岩等 4 种含油气储层, 其中以砂质碎屑岩储层为主。通过对代表性钻孔岩心的砂质碎屑岩储层研究可知, 砂岩类型主要为长石岩屑砂岩和岩屑砂岩, 砂岩成分成熟度较低, 含有较多的岩屑。在地层深度 800~910 m 范围内, 砂岩孔隙度随着埋深的增大而增大, 即存在着一个异常孔隙发育带(第一个次生孔隙发育带); 在 1 450~1 600 m 井段同样可见一个异常孔隙发育带(第二个次生孔隙发育带)。

## 3) 盖层特征

通过系统分析阜新盆地 7 口油气探井及 3000 余口煤田钻孔资料, 特别是东梁构造带 130 余口煤田钻孔资料, 建立东梁地区 134 口井的 Resform 数据库及制作 20 余条连井剖面, 证实沙海组上段发育厚层(230~700 m)泥岩。结合地震反射特征分析, 阜新盆地沙海组上段泥岩在全区分布稳定, 构成了有效的区域盖层。

## 4) 油气勘探突破

在综合分析前人工作基础上, 制定“由构造高点转为下洼找油、保存条件是成藏主控因素”的勘探思路, 部署辽旱地 2 井, 在沙海组下段钻遇两套油层<sup>[34]</sup>。该井完钻井深 1 200 m, 完钻层位为沙海组下段。在 862~886 m 取心 3 筒, 心长 23.27 m, 岩性以油斑—油浸砂砾岩为主, 综合解释油层 1 层 7.4 m、差油层 3 层 8.5 m。

施工过程中上提管柱见油。2017 年 9 月进行裸眼中途测试, 取得压力系数 0.9809、地温梯度  $3.25 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 、储集系数  $7.51 \text{ m}^3/\text{MPa}$ 、地层有效渗透率  $8.39 \text{ mD}$  等参数, 油产量为  $11.52 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2017 年 10 月 7—15 日, 连续进行裸眼抽汲试采 8 天, 累计排液  $742.6 \text{ m}^3$ , 累产油  $122.4 \text{ m}^3$ , 折算为  $15.3 \text{ m}^3/\text{d}$ <sup>[34]</sup>。

阜新市是一个资源枯竭型城市, 转型发展需求迫切。据此估算阜新盆地东梁区块油气资源量为  $1 510.21 \times 10^4 \text{ t}$ , 并提交“阜新盆地东梁区块油气地质资料包”, 对于资源枯竭型城市转型发展具有重要现实意义<sup>[34]</sup>。松辽盆地外围发育 50 多个与阜新盆地类似成盆、成烃、成藏特征的中小盆地, 这一突破, 对这类中小盆地勘探具有重要指导意义。

此外, 在位于阜新盆地东约 100 km 的秀水盆地, 也相继取得早白垩世油气发现。油气地质调查表明<sup>[35-37]</sup>, 秀水盆地义县组三段泥岩烃源岩为中等—好烃源岩, 有机质类型较好, 处于低成熟—成熟的演化阶段。烃源岩厚度大, 有机质丰度、类型及成熟度适宜, 为秀水盆地的主力生油层。根据秀水盆地物化探调查结果, 并依据秀 D1 和辽法地 1 井所见到的油气显示情况, 结合油源分析认为, 义县组油砂分布于次凹及其周缘的有效砂体圈闭, 均在烃源岩的有效供烃范围内。据此估算秀水盆地油气资源量为  $4 050 \times 10^4 \text{ t}$ , 并提交了相应的“秀水盆地油气勘查地质资料包”。

## 3.3 金羊盆地等外围侏罗系油气调查新进展

金羊盆地行政区属于朝阳、北票市管辖, 总面积  $7 400 \text{ km}^2$ 。盆地中生界地层自下而上可划分为三叠系红砬组、后富隆山组、羊草沟组, 侏罗系兴隆沟组、北票组、海房沟组、髻髻山组、土城子组和白垩系义县组。

### 1) 烃源岩条件

下侏罗统北票组是金羊盆地的主要生烃层系<sup>[38-40]</sup>。北票组露头较少, 均零散分布在盆地边缘剥蚀区地带。二维地震勘探表明, 北票组沉积中心位于巴图营子—四合屯附近, 最厚可达 2 000 m, 埋深一般为 2 000~2 500 m, 最大可达 4 000 m。

金羊盆地不同层系有机质丰度有明显差异。北票组烃源岩岩性主要为黑色泥岩, 其 TOC 值较高, 分布区间为 0.16%~14.2%, 平均值为 1.89%; 氯仿沥青“A”分布在 0.0030%~0.3072%, 平均为 0.0846%; 烃源岩有机质类型整体上以 II<sub>2</sub> 型为主, 即偏腐泥—腐殖型; 烃

源岩镜质体反射率值主要分布在 0.7%~1.3%; 烃源岩样品的热解峰温  $T_{\max}$  结果集中在 445~485 °C, 处于成熟阶段. 总的说来, 金羊盆地北票组具备较好生烃物质基础, 且处于成熟阶段及生油高峰期.

### 2) 储层条件

金羊盆地北票组的沉积类型<sup>[38-40]</sup>主要有湖泊相、河流相、泥沼相、洪泛平原相、冲积扇相、扇三角洲相和重力流沉积. 其中扇三角洲前缘和浊积扇储集条件相对有利, 是对油气勘探最有意义的沉积相类型, 有利于油气的运移和聚集.

### 3) 盖层条件

盖层条件的好坏是决定一个盆地油气聚集的重要指标. 据野外地质剖面露头观察, 金羊盆地存在多套区域性盖层. 北票组上段湖相泥岩和下段河湖沼泽相泥岩可成为良好的局部盖层. 区域上广泛且稳定分布的髻髻山组, 厚度在 1 000~2 000 m, 可有效地防止早期生成烃类的向上扩散.

### 4) 羊 D1 井油气发现

部署于金羊盆地章吉营子凹陷北部的羊 D1 井在中侏罗统髻髻山组安山岩裂隙中见油气发现<sup>[38-40]</sup>.

羊 D1 井 1 273.23~1 273.71 m 的髻髻山组火山岩方解石充填裂隙中见油气显示, 级别为油斑至油迹, 荧光干照为黄绿色; 1 290.16~1 290.91 m 在火山岩裂隙中见到两处油迹显示; 1 516.65~1 517.16 m 方解石充填裂隙中见油气显示, 级别为油斑, 累计缝洞型油斑岩心长度 0.68 m, 缝洞型油迹岩心长度 0.53 m. 另外, 1 344~1 463 m 岩心段中陆续见到 11 处荧光级别油气显示, 累计荧光显示厚度约 3.41 m. 油气地球化学手段表明, 羊 D1 井的 1 273 m 井段发现的油砂样品的原油主要来源于盆地内侏罗统北票组的烃源岩贡献.

### 5) 有利区预测

基于系统的非震物探与二维地震剖面测量, 结合地质调查井钻探与相关研究成果, 在金羊盆地内预测了 3 个油气有利区<sup>[38-40]</sup>, 并提交了相应的“金羊盆地区块油气勘查地质资料包”. 其中 1 号区位于章吉营子凹陷与松岭门凹陷的脊部构造位置, 面积为 410 km<sup>2</sup>; 2 号区位于章吉营子凹陷内部局部高部位, 面积 250 km<sup>2</sup>; 3 号区位于北票凹陷, 面积 115 km<sup>2</sup>.

此外, 对三江盆地抚远地区侏罗系海相硅质岩样品地球化学测试发现了轻质油<sup>[41-42]</sup>——荧光显微镜下

的透射光、绿光、蓝光和荧光下反复观察, 硅质岩裂缝中含有轻质油; 硅质岩有机碳分布在 0.07%~1.89%, 平均含量为 0.64%, 其  $T_{\max}$  分布在 440~580 °C, 平均值为 463 °C. 部署实施的黑同地 1 井在三江盆地钻遇早中生界海相暗色硅质泥岩地层<sup>[41-42]</sup>. 该井完钻深度 1 428.32 m, 钻遇暗色岩泥岩厚 351.32 m, 其有机质含量可达 0.95%. 测井资料显示, 在暗色泥岩中发现气测异常共 5 层, 异常峰值为 2.5%. 结合硅质岩样品所见的轻质油情况, 认为该区的海相侏罗系具有一定油气远景<sup>[41-42]</sup>. 早中生界硅质岩及硅质泥岩的发现, 对佳木斯地块甚至东北地区古地理、古气候和古环境的研究均具有重要意义.

## 4 松辽盆地西斜坡区和辽西地区深层系调查新进展

以深层系为主攻方向, 松辽盆地西斜坡区和辽西地区实施石炭-二叠系与中新元古界油气资源调查取得系列新进展.

### 4.1 松辽盆地西斜坡区二叠系油气调查

#### 4.1.1 区域地质背景

松辽盆地西斜坡区第四系和火山岩掩盖之下稳定分布有石炭-二叠纪地层, 且向东部延入松辽盆地内部. 近年来在富裕-宝山远景区以及白城-丰收镇远景区的二叠系油气调查取得了新进展, 明确了松辽盆地深层系油气的勘探方向<sup>[43-46]</sup>.

#### 4.1.2 富裕-宝山远景区二叠系油气发现

富裕-宝山区位于松辽西斜坡区的北部, 地形上处于由平缓起伏的漫岗向平原的过渡段, 面积约 850 km<sup>2</sup>. 二维地震剖面测量和广域电磁剖面测量表明, 区内上古生界目的层埋深为 1 500~3 500 m.

黑富地 1 井位于富裕-宝山区的中东部, 完钻深度 2 089.4 m<sup>[43-46]</sup>. 二叠系目的层与上覆地层岩性界限在 1 386.42 m 处, 之下为上二叠统林西组灰色、深灰色、灰黑色砂质-粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、页岩等, 局部夹薄层泥灰岩、沉凝灰岩. 累计厚度 276 m, 最大单层厚度约 70 m. 同位素年龄数据表明, 该套沉积地层沉积时间在 250~260 Ma 之间, 相当于盆地外围的上二叠统林西组. 泥页岩样品总有机碳含量分布在 0.013%~1.56% 之间, 平均值为 1.058%, 绝大部分为中等烃源岩, 具备生烃物质基础,  $T_{\max}$  大多大于 450 °C. 该井在 2 004 m 之后有明显的气测异常, 气测基值由

0.3%~0.4%,逐渐增大至0.8%左右,测异常高值1.6%~1.8%,后效值达4%左右。气体成分主要为 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{CO}_2$ ;无空气基分析组分甲烷( $\text{CH}_4$ )含量一般在66.95%~97.34%。甲烷同位素分析表明,其来源于深部二叠系的气体。

#### 4.1.3 白城-丰收镇远景区二叠系进展

白城-丰收镇区位于松辽盆地西部斜坡区的中部,面积约1150 km<sup>2</sup>。区内构造-岩浆活动较为发育,以往的油田钻井多终孔于传统认识的花岗岩“基底”之上。采用广域电磁剖面和二维地震剖面相结合的地球物理新方法在花岗岩“基底”之下发现了明显的低阻信息。据此部署实施的吉白地2井在花岗岩“基底”之下钻遇林西组厚层泥页岩<sup>[43-46]</sup>,累计厚度139 m,最大单层厚度约29 m。泥页岩样品总有机碳含量分布在0.01%~2.10%之间,平均值为0.65%, $T_{\text{max}}$ 为300~546℃,总体上为成熟-高成熟阶段,具备生烃一定物质基础。

上述调查结果表明,松辽盆地西缘发育的二叠系暗色泥页岩规模大,埋深适中,具有生烃潜力,是“大庆之下找大庆”的物质基础<sup>[43-46]</sup>。

#### 4.2 辽西地区中新元古界油气调查新进展

以凌源-宁城盆地南部为切入点,通过开展中元古界油气地质调查,明确了凌源-宁城地区中新元古界海相层系油气资源前景,为区域中元古界油气资源潜力评价提供依据。

工作区中元古界主要存在的烃源岩层为蓟县系高于庄组、洪水庄组、铁岭组和待建系下马岭组,分析样品主要来源于牛地1井、辽凌地1井、辽凌地2井以及小庄户黄花沟LP剖面、七道沟砖厂16LP剖面和孟家窝铺村北P1701剖面<sup>[47-49]</sup>。

##### 1) 烃源岩特征

102块中元古界烃源岩样品TOC分布于0.16%~5.42%;生烃潜量和氯仿沥青“A”分布特征相似,与TOC之间也存在较好的线性关系。洪水庄组有机质丰度最高,下马岭组烃源岩次之,为中等级别,铁岭组与高于庄组烃源岩较差。

中元古界干酪根样品碳同位素偏轻,基本都小于-27‰,具有明显的偏腐泥型有机质的特征,主要为I型,少部分为II型。下马岭组、铁岭组、洪水庄组及高于庄组烃源岩样品有机质类型偏腐泥型,具有较好生烃物质基础<sup>[47-49]</sup>。

凌源-宁城盆地中元古界烃源岩热演化程度整体偏高,基本处于高一过成熟阶段,仅小庄户剖面洪水庄组较低,刚达到成熟阶段。

##### 2) 储层特征

雾迷山组厚度巨大,野外露头见油苗。该套储层原生孔隙发育,孔隙度最大达4.7%,平均为1.82%,渗透率最大为8.04 mD;铁岭组孔隙度为0.1%~3.2%,渗透率最大为0.202 mD,二者均属于特低孔低渗碳酸盐岩储层。值得注意的是,牛营子凹陷牛D1井高于庄组的灰岩裂缝中见可流动的原油,表明辽西拗陷的碳酸盐岩可作为储层<sup>[47-49]</sup>。

下马岭组灰绿色中-粗石英砂岩可作为碎屑岩储层。孔隙度为15%~25%,储集空间以原生孔隙和粒间孔隙为主。在凌源地区龙潭沟下马岭组底部发现了洪水庄组生油、下马岭组储油的沥青砂岩古油藏,证明了辽西拗陷中元古界碎屑岩储层具有良好的储油能力<sup>[47-49]</sup>。

##### 3) 牛D1井中元古界古老油藏

牛D1井位于辽西地区牛营子凹陷东北部,终孔井深500.25 m,在330~382.55 m井段中元古界高于庄组灰岩裂缝中见多段油迹—富含油级显示。生物标志化合物和碳同位素测试表明,牛D1井341.65~362.0 m高于庄组灰岩中原油应来自中元古界蓟县系洪水庄组烃源层的贡献<sup>[47-49]</sup>。

## 5 其他相关资源的发现与认识

在开展松辽盆地及外围油气基础地质调查工作中,部署于松辽盆地西斜坡区的吉洮地1井、吉白地1井、黑富地1井先后钻遇中浅层油气。部分钻井还钻遇含量0.5%的氦气,为战略性氦气资源调查提供了重要依据<sup>[43-46]</sup>。

### 5.1 中浅层油气

吉洮地1井在中白垩统姚家组中见油层共11层,共5.68 m,其中油浸1.17 m,油斑4.51 m,油砂0.5 m,荧光显示20 m。气测录井全烃值介于0~26.164%,解释出气测异常层4层,其中油气层2层,含气层2层。吉白地1井通过对岩心进行湿照、干照、滴照以及系列对比,在560 m井段发现油层共24层,共21.26 m,其中油浸0.35 m,油斑0.15 m,油迹1.26 m,荧光19.4 m;吉白地1井全烃值介于0~13.538%,解释出气测异常

层5层。

## 5.2 氦气

高D1井、吉白地1井、黑富地1井钻遇的天然气中检测到氦气资源。其中高D1井氦气含量0.84%，黑富地1井氦气含量0.5%，白地1井氦气含量0.5%。相关资料表明，松辽盆地西北部达到工业氦气藏标准的钻井有30多口，氦气藏中氦的含量一般在0.102%~0.404%范围内，个别井中氦气含量较高；气藏的埋深范围589.6~3630.0 m；主要产气层 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位素值介于壳源与幔源成因的氦同位素比值之间。

## 6 关于下步工作思考

以“全盆地、大地质、多资源”综合调查为指导思想，针对东北地区油气勘探层系多、领域广、挑战难、潜力大的特点，紧密围绕东北地区后备油气资源不足的迫切需求，聚焦松辽盆地及外围油气勘探的关键地质问题，实施新一轮油气基础地质调查，力争取得重要发现或突破，为百年大庆油田建设和东北老工业基地振兴提供后备资源保障。

1) 陆相页岩油资源调查方面，深化页岩油主控因素认识，构建陆相页岩油地质理论与勘探技术，系统评价重点陆相盆地的页岩油资源。

2) 松辽盆地整体结构与多种能源综合调查方面，从全盆地的视野，分析松辽盆地整体结构与能源资源形成演化地质背景和成藏规律，开展盆地三维建模与资源评价，建立多能源综合调查评价开发示范基地。

3) 深层系油气地质调查方面，针对石炭-二叠系、中新元古界建造、改造、保存等关键地质问题，开展重大地质事件与盆地形成演化机制研究，提升优化深层系勘查的技术方法。

4) 外围中小盆地调查方面，参照阜新盆地和大杨树盆地勘探经验，进一步开展资料收集、调研和总结，将外围盆地进行系统评价和排序，提出可供进一步勘查的区块建议。

致谢：参加本项工作的郑月娟、丁秋红、李成立、卞雄飞、王杰、郜晓勇、孙月成、张海华、孙求实、李晓海、姚玉来、宗文明、肖飞、李文博、张德军、孙雷、黄欣、甄甄、张涛、石蕾、朱恒、刘建勋、董向宇、施立志、朱焕来、朱占平、唐友军、任杭州、段学仁、刘银仓、李建勋、

卢战区、袁杰、汪博、张云龙、夏宝明、刘飞宇等与相关项目组同志付出了大量辛苦劳动，提供了详实的第一手资料；长江大学地球化学实验室、东北石油大学实验室的老师完成了有关样品分析测试；本项工作得到了乔德武、张抗、高瑞琪、王成善、康玉柱、金之钧、张绍礼、陈仁义、李志忠、张大权、朱群、邢树文、韩志军、张君峰、张作衡、任收麦、汪大明、王剑、卢进才、翟刚毅、包书景、王玉华、金成志、付晓飞、徐兴友、门广田、张革、董万百、吴河勇、王亚民、王青海、王世辉、贺君玲、杨光、黄桂雄、徐宏节、李瑞磊、单俊峰、王占忠、周少强、张兴洲、吴怀春、方慧、侯贺晟、周锡明、冉清昌、董清水、柳波等专家学者的精心指导与帮助，在此致以诚挚谢意！

## 参考文献(References):

- [1] 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.  
Gao R Q, Cai X Y. Formation conditions and distribution of oil and gas fields in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. (in Chinese)
- [2] 侯启军, 冯志强, 冯子辉, 等. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009.  
Hou Q J, Feng Z Q, Feng Z H, et al. Terrestrial petroleum geology of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [3] 王成善, 冯志强, 吴河勇, 等. 中国白垩纪大陆科学钻探工程: 松科一井科学钻探工程的实施与初步进展[J]. 地质学报, 2008, 82(1): 9-20.  
Wang C S, Feng Z Q, Wu H Y, et al. Preliminary achievement of the Chinese Cretaceous continental scientific drilling Project-SK-I [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(1): 9-20.
- [4] 国土资源部油气资源战略研究中心. 东北地区油气资源动态评价[M]. 北京: 中国大地出版社, 2013: 144-149.  
Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, MNR. Dynamic evaluation of oil and gas resources in Northeast China [M]. Beijing: China Land Press, 2013: 144-149. (in Chinese)
- [5] 许坤, 杨建国, 陶明华, 等. 中国北方侏罗系——东北地层区[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.  
Xu K, Yang J G, Tao M H, et al. Jurassic in Northern China: Northeastern stratigraphic region [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [6] 余中和. 松辽盆地及周边地区石炭纪—二叠纪岩相古地理[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(4): 71-83.  
Yu Z H. Sedimentary facies and palaeogeography of the Songliao Basin

- and its peripheral areas during Carboniferous-Permian time [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2001, 21(4): 71-83.
- [7]汪新文. 中国东北地区中—新生代盆地构造演化与油气关系[M]. 北京:地质出版社,2007.
- Wang X W. Tectonic evolution of Mesozoic-Cenozoic basins in Northeast China and its relationship with oil and gas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007. (in Chinese)
- [8]沈安江,许坤,陆俊名,等. 东北油气区石炭—二叠系研究及油气远景评价[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
- Shen A J, Xu K, Lu J M, et al. Study on Permo-Carboniferous system and evaluation of oil and gas prospect in Northeast China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [9]陈树旺,丁秋红,郑月娟,等. 松辽外围早侏罗世—晚古生代油气远景分析[J]. 矿床地质,2010,(增刊)29: 1037-1038.
- Chen S W, Ding Q H, Zheng Y J, et al. Oil and gas prospect analysis of Early Jurassic-Late Paleozoic in the periphery of Songliao Basin [J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29 (S):1037-1038. (in Chinese)
- [10]赵志魁,江涛,贺君玲,等. 松辽盆地石炭系—二叠系油气勘探前景[J]. 地质通报,2011, 30(2/3): 221-227.
- Zhao Z K, Jiang T, He J L, et al. The oil and gas exploration prospect of Carboniferous-Permian in Songliao Basin, Northeastern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3): 221-227.
- [11]任收麦,乔德武,张兴州,等. 松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区研究进展[J]. 地质通报. 2011,30(2/3):197-204.
- Ren S M, Qiao D W, Zhang X Z, et al. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area in the Upper Paleozoic of Songliao Basin and surrounding area, NE China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011,30(2/3):197-204.
- [12]张兴州,乔德武,迟效国,等. 东北地区晚古生代构造演化及其石油地质意义[J]. 地质通报. 2011,30(2/3):205-213.
- Zhang X Z, Qiao D W, Chi X G, et al. Late Paleozoic tectonic evolution and oil-gas potential in Northeastern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011,30(2/3):205-213.
- [13]张永生,王延斌,卢振权,等. 松辽盆地及外围地区石炭系—二叠系烃源岩的特征[J]. 地质通报.2011,30(2/3):214-220.
- Zhang Y S, Wang Y B, Lu Z Q, et al. Characteristics of source rock from Carboniferous-Permian in Songliao Basin and its peripheral area, Northeastern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3): 214-220.
- [14]张抗. 中国大北方上古生界油气勘探新领域(代序)[J]. 地质通报, 2011,30(6):803-810.
- Zhang K. New domain of Upper Paleozoic hydrocarbon exploration in "Large North" of China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011,30 (6):803-810.
- [15]张抗. 东北地区油气领域接替形势展望(代序)[J]. 地质通报, 2013, 32(8):1141-1146.
- Zhang K. The prospect of the development of oil and gas exploration in Northeast China (in lieu of preface) [J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(8): 1141-1146.
- [16]陈树旺,丁秋红,郑月娟,等. 松辽盆地外围新区、新层系:油气基础地质调查进展与认识[J]. 地质通报,2013, 32(8):1147-1158.
- Chen S W, Ding Q H, Zheng Y J, et al. New areas and series of strata on the periphery of Songliao Basin: The progress and recognition based on foundational geological survey for oil and gas resources[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(8): 1147-1158.
- [17]陈树旺,张健,公繁浩,等. 内蒙古突泉盆地侏罗系油气发现及工作展望[J]. 地质与资源,2015,24(1):1-6.
- Chen S W, Zhang J, Gong F H, et al. Discovery and prospects of the Jurassic oil and gas in Tuquan Basin, Inner Mongolia[J]. *Geology and Resources*, 2015, 24(1): 1-6.
- [18]陈树旺,公繁浩,杨建国,等. 松辽盆地外围油气基础地质调查工程进展与未来工作方向[J]. 中国地质调查, 2016, 3(6): 1-9.
- Chen S W, Gong F H, Yang J G, et al. Progress and orientation of the project about fundamental geological survey on oil and gas resources in the periphery area of Songliao Basin [J]. *Geological Survey of China*, 2016, 3(6): 1-9.
- [19]张君峰,许浩,赵俊龙,等. 中国东北地区油气地质特征与勘探潜力展望[J]. 中国地质, 2018, 45(2): 260-273.
- Zhang J F, Xu H, Zhao J L, et al. Geological characteristics and exploration potential of oil and gas in the northeast area of China[J]. *Geology in China*, 2018, 45(2): 260-273.
- [20]陈树旺,李永飞. 松辽盆地外围油气地质调查进展[J]. 地质与资源, 2020,29(4):401.
- Chen S W, Li Y F. Progress of the geological survey for oil-gas in surroundings of Songliao Basin[J]. *Geology and Resources*, 2020, 29 (4):401.
- [21]杨建国,李士超,姚玉来,等. 松辽盆地北部陆相页岩油调查取得重大突破[J]. 地质与资源,2020,29(3):300.
- Yang J G, Li S C, Yao Y L, et al. Significant breakthrough in the continental shale oil survey in northern Songliao Basin [J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(3):300.
- [22]张君峰,徐兴友,白静,等. 松辽盆地南部白垩系青一段深湖相页岩油富集模式及勘探实践[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(4): 637-652.
- Zhang J F, Xu X Y, Bai J, et al. Enrichment and exploration of deep lacustrine shale oil in the first member of Cretaceous Qingshankou Formation, southern Songliao Basin, NE China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2020, 47(4): 637-652.
- [23]肖飞,赵洪伟,李永飞,等. 辽西阜新盆地地下白垩统沙海组油源再认识[J]. 中国地质,2017,44(3):604-605.
- Xiao F, Zhao H W, Li Y F, et al. Re-understanding of oil source of the Lower Cretaceous Shahei Formation in the Fuxin Basin, western Liaoning Province[J]. *Geology in China*, 2017, 44(3): 604-605.
- [24]李士超,张金友,公繁浩,等. 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[J]. 地质通报, 2017, 36(4): 654-663.
- Li S C, Zhang J Y, Gong F H, et al. The characteristics of mudstones of Upper Cretaceous Qingshankou Formation and favorable area optimization of shale oil in the north of Songliao Basin [J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(4): 654-663.
- [25]冉清昌,等. 松辽盆地北部页岩油气地质条件与资源潜力评价[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 2014.
- Ran Q C, et al. Evaluation of shale oil and gas geological conditions and resource potential in northern Songliao Basin [M]. Harbin: Heilongjiang Science & Technology Press, 2014. (in Chinese)
- [26]陈详,王敏,严永新,等. 陆相页岩油勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 2015.
- Chen X, Wang M, Yan Y X, et al. Continental shale oil exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [27]王玉华,梁江平,张金友,等. 松辽盆地古龙页岩油资源潜力及勘探方向[J]. 大庆石油地质与开发, 2020, 39(3):20-34.
- Wang Y H, Liang J P, Zhang J Y, et al. Resource potential and exploration direction of Gulong shale oil in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(3): 20-34.
- [28]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.
- Zou C N, Yang Z, Cui J W, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(1): 14-26.
- [29]柳波,石佳欣,付晓飞,等. 陆相泥页岩层系岩相特征与页岩油富集条件——以松辽盆地古龙凹陷白垩系青山口组一段富有机质页岩为例[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(5): 1-11.
- Liu B, Shi J X, Fu X F, et al. Petrological characteristics and shale oil enrichment of lacustrine fine-grained sedimentary system: A case study of organic-rich shale in first member of Cretaceous Qingshankou Formation in Gulong Sag, Songliao Basin, NE China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(5): 1-11.
- [30]霍秋立,曾花森,付丽,等. 松辽盆地北部青一段泥页岩储集特征及孔隙演化[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(1): 1-8.
- Huo Q L, Zeng H S, Fu L, et al. Accumulating characteristics and pore evolution for Member Qing-1 mud shale in North Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2019, 38(1): 1-8.
- [31]刘建英,王世云,尹继宏. 阜新盆地石油地质特征[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(4):450-457.
- Liu J Y, Wang S Y, Yin J H. Petroleum geological character of Fuxin Basin [J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(4):450-457.
- [32]吴炳伟,郭彦民,王新,等. 辽宁阜新盆地油气勘探方向[J]. 地质与资源, 2015, 24(5):473-477.
- Wu B W, Guo Y M, Wang X, et al. The oil-gas exploration direction of Fuxin Basin [J]. Geology and Resources, 2015, 24(5):473-477.
- [33]龚建明,温珍河,戴春山. 阜新盆地的储层特征及其勘探方向[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(2):81-90.
- Gong J M, Wen Z H, Dai C S. Reservoir characteristics and exploratory targets of Fuxin Basin [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18(2): 81-90.
- [34]赵洪伟,陈树旺,汪大明,等. 阜新盆地油气勘探获得重大突破[J]. 中国地质, 2018, 45(4): 857-858.
- Zhao H W, Chen S W, Wang D M, et al. Major breakthroughs in oil and gas exploration in the Fuxin Basin [J]. Geology in China, 2018, 45(4): 857-858.
- [35]丁秋红,陈树旺,李晓海,等. 辽宁省北部秀水盆地地下白垩统地质特征及含油气前景[J]. 中国地质调查, 2019, 6(3):14-21.
- Ding Q H, Chen S W, Li X H, et al. Geological characteristics and oil-bearing prospect of Lower Cretaceous in Xiushui Basin of northern Liaoning Province [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(3):14-21.
- [36]姚玉来,李晓海,司江福,等. 辽宁北部秀水盆地秀 D1 井烃源岩评价[J]. 地质与资源, 2018, 27(2): 186-191.
- Yao Y L, Li X H, Si J F, et al. Evaluation on the source rocks from X-D1 Well in Xiushui Basin, northern Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2018, 27(2): 186-191.
- [37]李文博,李晓海,丁秋红,等. 辽宁北部秀水盆地白垩系义县组泥岩地球化学特征及地质意义[J]. 现代地质, 2019, 33(2): 284-292.
- Li W B, Li X H, Ding Q H, et al. Geochemical characteristics of the Cretaceous Yixian Formation mudstones in Xiushui Basin of northern Liaoning and their geological significance [J]. Geoscience, 2019, 33(2): 284-292.
- [38]李永飞,郜晓勇,孙守亮,等. 辽西金羊盆地北票组泥页岩有机地球化学特征——以 SZK01 钻孔岩心为例[J]. 地质论评, 2015, 61(S1):673-674.
- Li Y F, Gao X Y, Sun S L, et al. Organic geochemical characteristics of Beipiao Formation shale in Jinyang Basin, western Liaoning Province: A case study of SZK01 core [J]. Geological Review, 2015, 61(S1): 673-674. (in Chinese)
- [39]张涛,李永飞,孙守亮,等. 辽西金羊盆地羊 D1 井油砂地球化学特征及意义[J]. 地质通报, 2017, 36(4):582-590.
- Zhang T, Li Y F, Sun S L, et al. Saturated hydrocarbon geochemical characteristics of the oil sand from YD1 well in Jinyang Basin and its significance for oil and gas exploration [J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(4):582-590.
- [40]孙守亮,李永飞,等. 金羊盆地北票组沉积环境及烃源岩有机地球化学特征[J]. 世界地质, 2017, 36(3):889-902.
- Sun S L, Li Y F, Chen S W, et al. Depositional environment and organic geochemical characteristics of source rocks of Beipiao Formation in Jinyang Basin [J]. Global Geology, 2017, 36(3):889-902.

(下转第 248 页/Continued on Page 248)

- 指数[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(6): 1326-1340.
- Zhang J, Ai C, Li Y W, et al. Brittleness evaluation index based on energy variation in the whole process of rock failure [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(6): 1326-1340.
- [36] Ai C, Zhang J, Li Y W, et al. Estimation criteria for rock brittleness based energy analysis during the rupturing process [J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2016, 49: 4681-4698.
- [37] Li Y W, Long M, Zuo L H, et al. Brittleness evaluation of coal based on statistical damage and energy evolution theory [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019, 172: 753-763.
- [38] Zhang J, Ai C, Li Y W, et al. Energy-based brittleness index and acoustic emission characteristics of anisotropic coal under triaxial stress condition [J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2018, 51: 3343-3360.
- [39] Liu B, Wang S, Ke X, et al. Mechanical characteristics and factors controlling brittleness of organic-rich continental shales [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2020, 194: 107464.
- [40] Li Y W, Zhao Y D, Tang J Z, et al. Rock damage evolution model of pulsating fracturing based on energy evolution theory [J]. Energy Science and Engineering, 2020, 8(4): 1050-1067.
- [41] 李玉伟, 龙敏, 汤继周, 等. 考虑裂尖塑性区影响的水力压裂缝高计算模型 [J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(1): 175-185.
- Li Y W, Long M, Tang J Z, et al. A hydraulic fracture height mathematical model considering the influence of plastic region at fracture tip [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(1): 175-185.
- [42] Li Y W, Yang S, Zhao W C, et al. Experimental of hydraulic fracture propagation using fixed-point multistage fracturing in a vertical well in tight sandstone reservoir [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018, 171: 704-713.
- [43] Xie J, Tang J Z, Yong R, et al. A 3-D hydraulic fracture propagation model applied for shale gas reservoirs with multiple bedding planes [J]. Engineering Fracture Mechanics, 2020, 228, 106872.
- (上接第 231 页/Continued from Page 231)
- [41] 张文浩, 刘卫彬, 王丹丹, 等. 黑龙江三江盆地早中生界大架山组硅质泥岩成烃潜力评价 [J]. 中国地质, 2020, 47(1): 121-132.
- Zhang W H, Liu W B, Wang D D, et al. Hydrocarbon generation potential of Early Mesozoic siliceous mudstone in Sanjiang Basin, Heilongjiang, Northeast China [J]. Geology in China, 47(1): 121-132.
- [42] 张文浩, 王丹丹, 孟元林, 等. 三江盆地地下侏罗统硅质岩中发现轻质油 [J]. 中国地质, 2017, 44(6): 1255-1256.
- Zhang W H, Wang D D, Meng Y L, et al. The discovery of light oil in the Lower Jurassic siliceous rocks of eastern Sanjiang Basin [J]. Geology in China, 44(6): 1255-1256.
- [43] 陈树旺, 张健, 郑月娟, 等. 松辽盆地西部斜坡区上古生界油气地质调查进展与发现 [J]. 中国地质调查, 2019, 6(1): 1-9.
- Chen S W, Zhang J, Zheng Y J, et al. Progresses and discoveries of geological survey on oil and gas resources related to the Upper Paleozoic in the western slope of Songliao Basin [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(1): 1-9.
- [44] 张健, 孙雷, 何大祥, 等. 松辽盆地滨北西部上二叠统林西组烃源岩生物标志化合物的特征及意义 [J]. 地质与资源, 2019, 28(4): 350-357.
- Zhang J, Sun L, He D X, et al. Biomarker compounds in the source rocks of Upper Permian Linxi Formation in western Binbei area, Songliao Basin: Characteristics and implications [J]. Geology and Resources, 2019, 28(4): 350-357.
- [45] Sun L, Zhang J, Chen S W, et al. Reservoir characteristics of mud shale from the Upper Permian Linxi Formation in Binbei area of Songliao Basin [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2019, 93(S2): 315-316.
- [46] 张健, 张海华, 陈树旺, 等. 松辽盆地北部上二叠统林西组地球化学特征及地质意义 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(2): 518-530.
- Zhang J, Zhang H H, Chen S W, et al. Geochemical characteristics and geological significance of Upper Permian Linxi Formation in northern Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2): 518-530.
- [47] 宗文明, 郜晓勇, 孙求实, 等. 华北北部凌源-宁城盆地蓟县系洪水庄组生烃潜力分析——以小庄户剖面为例 [J]. 地质与资源, 2017, 26(4): 370-376.
- Zong W M, Gao X Y, Sun Q S, et al. Evaluation of the hydrocarbon generating potential of the Jixianian Hongshuizhuang Formation in Lingyuan-Ningcheng Basin, Northern China: A Case study of Xiaozhuanghu geological profile [J]. Geology and Resources, 2017, 26(4): 370-376.
- [48] Sun Q S, Xiao F, Gao X Y, et al. A new discovery of Mesoproterozoic Erathem oil, and oil-source correlation in the Niuyingzi area of western Liaoning Province, NE China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2019, 110: 606-620. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2019.07.048.
- [49] Zhang T, Sun S L, Li Y F, et al. Primary productivity and basin redox conditions within the Mesoproterozoic Hongshuizhuang Formation from Chaoyang area, Liaoxi sag [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 600(1). doi: 10.1088/1755-1315/600/1/012052.