



阜新盆地油气资源勘探及产能研究

宋凯林¹, 朱琳²

1. 辽宁省能源地质勘查开发研究院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110013;

2. 辽宁省地矿集团能源地质有限责任公司, 辽宁 沈阳 110013

摘要: 基于阜新盆地地质条件和油气勘探结果, 对辽阜地 2 井的地质条件和油气资源条件进行了测试试验, 确定了阜新盆地油气资源地质条件、资源条件和赋存条件, 得到了各储层实测临界解析压力, 确定了该区地应力梯度约为 0.013 kPa/m, 储层破裂压力为 10.6~11.5 MPa。通过油气产能测试试验得到了辽阜地 2 井最高日产油 16.86 t, 最高日产气 2 584 m³, 确定了辽阜地 2 井区盆地煤层气储量评价为小型中产能气田, 为接下来的地质勘探及开采工作提供了依据。

关键词: 煤层气; 油气资源; 油气产能; 断裂构造圈; 阜新盆地; 松辽盆地

OIL-GAS RESOURCES EXPLORATION AND PRODUCTION CAPACITY STUDY OF FUXIN BASIN

SONG Kai-lin¹, ZHU Lin²

1. Liaoning Energy Geological Exploration and Development Research Institute Co., Ltd., Shenyang 110013, China;

2. Liaoning Geology and Mineral Resources Group Energy Geology Co., Ltd., Shenyang 110013, China

Abstract: Based on the geological conditions and oil-gas exploration results of Fuxin Basin, the LFD-2 well is tested to determine the geological, resources and occurrence conditions of oil-gas resources in the basin. According to the measured critical analytical pressure of each reservoir, the ground stress gradient of the area is about 0.013 kPa/m, with the reservoir fracture pressure of 10.6-11.5 MPa. The oil-gas productivity test shows that the highest daily oil output is 16.86 t and daily gas output 2 584 m³ in LFD-2 well. The coalbed methane (CBM) reserves in the basin of LFD-2 well is evaluated as a small-scaled gas field with medium productivity, which provides a basis for the following geological exploration and mining work.

Key words: coalbed methane; oil-gas resources; oil-gas productivity; fault tectosphere; Fuxin Basin; Songliao Basin

0 引言

中国油气勘探经历了构造油气藏、岩性-地层油气藏勘探阶段, 现今进入了常规与非常规油气并举的

“立体综合勘探”阶段^[1-2]。针对国内外不同地区的地质条件和油气资源分布情况, 学者们采用了不同的勘探方法及分析手段, 对不同地区的地质情况及油气资

收稿日期: 2022-08-04; 修回日期: 2022-12-09. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“鸡西等含煤盆地煤系气地质调查”(项目编号 DD20190101).

作者简介: 宋凯林(1987—), 女, 硕士, 工程师, 从事油气地质研究, 通信地址 辽宁省沈阳市沈河区青年北大街 7 号, E-mail//550542668@qq.com

通信作者: 朱琳(1985—), 男, 工程师, 从事油气地质研究, 通信地址 辽宁省沈阳市沈河区青年北大街 7 号, E-mail//172874819@qq.com

源分布进行了研究. 张光亚等^[3]分析了13个地质时期的原型盆地类型及其位置分布,提出了全球原型盆地的形成与板块构造演化密切相关,并预测了盆地油气资源的生-储-盖组合分布与油气富集有利区. 何登发等^[4-5]对中国盆地油气勘探及资源分布特征进行了总结分析,提出了新的勘探理念和方法以及用于预测资源丰度的统计预测模型. 管晋红等^[6-7]对含油气盆地构造及成藏规律进行了分析,总结了现有的盆地构造演化分析、油源对比分析、碳同位素分析等方法在油气成藏过程研究中的应用,阐明了油气成藏机制和分布规律. 陈建宏等^[8]研究了安达曼海区域构造-沉积演化和盆地油气地质特征,建立了油气成藏模式,分析了其勘探潜力. 李国欣等^[9]总结了柴达木地区盆地油气资源的成盆、成储、成藏规律,指出了未来勘探转型的领域和方向. 刘池洋等^[10]对鄂尔多斯地区盆地资源的成因及赋存-成藏特点进行了研究,提出了常规与非常规油气存在明显的时空过渡性和共存兼容性,低渗-特低渗致密储层广布,具有丰富的勘探潜力. 董清水等^[11-12]对松辽盆地油气资源进行了野外地质调研和测试分析,发现了良好的自生自储、下生上储和上生下储型生储盖组合,提出了隐蔽的岩性油气藏和刺穿构造油气藏是有利的油气勘探方向. 周亚龙等^[13-15]依据塔里木盆地油气的化学特征,提出了大型盆地可以采用甚低密度油气地球化学填图技术,发挥了油气化探“迅速掌握全局、快速缩小靶区”的战略作用.

阜新盆地煤炭资源丰富,是我国重要的煤炭基地之一. 阜新盆地还具有丰富的常规油气、煤层气、页岩气资源,根据辽宁省中生代沉积盆地油气资源预测,阜新盆地油气资源量约为 $1\ 734\times 10^4\sim 2\ 117\times 10^4\ \text{t}$ ^[16]. 阜新盆地历经多次构造演化,地层分布、断裂系统较为复杂. 根据国内外已有研究,油气资源分布及显示与地层断层具有相关性,早期油气资源沿断层位置向上聚集,后期根据地质构造变动形成油气资源储藏. 根据以往油气勘探工作,阜新盆地油气资源主要富集在东梁区,虽然该区不具备形成大规模油气田的潜力条件,但存在局部富集成藏的可能性.

本文在已有研究的基础上,对辽宁省阜新盆地油气资源产能进行试验及分析. 通过对辽阜地2井的产能进行测试试验,分析该区域的油气资源条件和地质

条件,确定该地区的稳定产能,对该地区资源条件、赋存条件进行现场调研及理论分析,为之后的辽西北地区盆地油气资源勘探工作提供经验和依据.

1 研究区概况

阜新盆地位于辽宁省西部,属阜新、锦州两市所辖,南北长约85 km,东西宽8~20 km,面积约1 500 km². 阜新盆地属于勘探老区,勘探程度高. 多年来国内外学者对阜新盆地的改造类型、油气评价及勘探方向进行了研究,发现阜新盆地改造类型属于整体抬升剥蚀型,早白垩世断陷期地层保存完整,缺失晚白垩世拗陷期及以上地层,主要的生储盖层九佛堂组、沙海组保存完好^[16-19].

自1995年以来,阜新盆地进行了大量煤层气科研、勘探工作,并在刘家区取得成功,已经开发利用. 本次研究区位于阜新煤田中部偏南,距阜新市中心5 km左右,赋存有阜新组煤层. 区域煤类以长焰煤为主,具有面积小、煤层厚度大、煤层气含量高、丰度值高的特点,被列为阜新煤田煤层气勘探靶区. 随着老井步入衰减期,阜新盆地目前日供气量为 $3\times 10^4\ \text{m}^3$,平均单井日产气量1 200~1 300 m³,累计供气 $1.71\times 10^8\ \text{m}^3$,采出程度10.06%.

2 地质条件

2.1 构造位置

阜新盆地大地构造位于中朝准地台燕山台隙带东北部,西以松岭断裂与羊山盆地相邻,东以闫山断隆与黑山-彰武盆地相邻,南邻山海关台隆,北与内蒙地轴接壤^[20](图1).

2.2 地层

阜新盆地为北北东向断陷盆地,以新太古界(Ar_2)或中元古界(Pt_2)地层为基底,其上发育中生界白垩系下统义县组(K_{1j})、九佛堂组(K_{1f})、沙海组(K_{1sh})、阜新组(K_f),白垩系上统孙家湾组(K_{2s})及新生界第四系(Q). 岩层情况如表1所示.

2.3 构造

阜新盆地为典型的陆相断陷盆地,东西两侧盆缘断裂为盆地一级构造. 盆地次一级构造以褶皱为主,从北向南依次为新邱-哈拉哈背斜、刘家-王营子向斜、东梁-清河门背斜、李金-九道岭向斜,呈北东向雁

表 1 阜新盆地区域地层表

Table 1 Regional stratigraphy of Fuxin Basin

地层	代号	厚度/m	主要岩性
第四系	Q	0-20	黄土、黏土、砂及砾石
孙家湾组	K _s	300-1000	上、中部:紫红色粗砂岩、砂砾岩,夹薄层砂岩 下部:灰绿、紫红色砾岩,夹白色砂岩、砂砾岩
阜新组	K _f	400-1000	上部:砂岩、砂砾岩、粗砂岩夹薄煤层 中部:砂岩、泥岩、碳质泥岩,夹煤层 下部:砂泥岩互层,夹薄层砾岩,夹薄煤层
沙海组	K ₁ sh ⁴	250-750	泥岩、砂岩,夹砂砾岩透镜体(水下扇)
	K ₁ sh ³	300-600	砂岩、泥岩夹煤层,夹薄层砂砾岩
	K ₁ sh ²⁺¹	60-193	砂砾岩为主,夹少量泥岩
九佛堂组	K ₁ j	150-1950	上部:灰色泥岩、砂质泥岩 中部:细砂岩、粉砂岩 下部:白云质含泥砂岩、含泥粉砂岩、凝灰岩、角砾岩
义县组	K ₁ y	200-1000	安山岩、玄武岩、流纹岩、角砾熔岩,夹火山质角砾岩、集块岩及凝灰质砂岩、泥岩等
中元古界	Pt ₂	不详	硅质白云岩和硅质灰岩
新太古界	Ar ₂	不详	上部:石英片麻岩 下部:花岗片麻岩、角闪岩夹石英岩透镜体

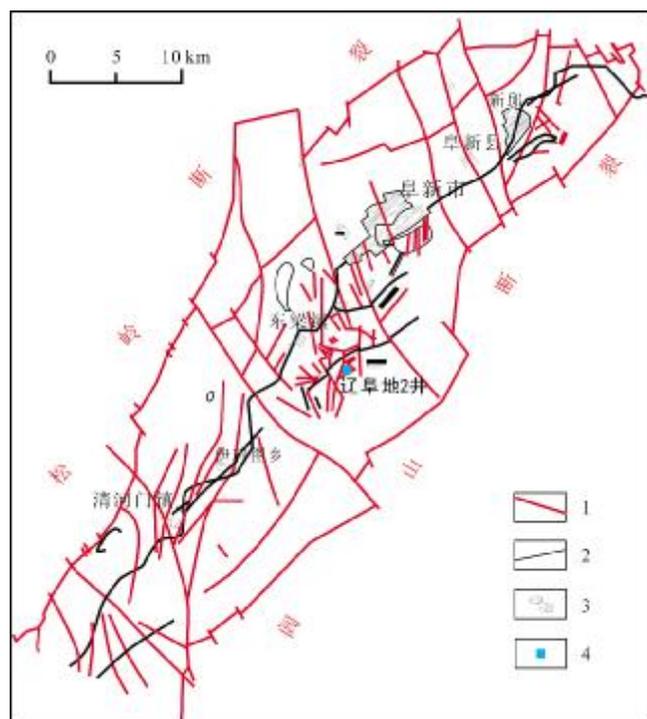


图 1 阜新盆地构造简图

Fig. 1 Tectonic sketch map of Fuxin Basin

1—断层(fault); 2—褶皱轴迹(axial trace of fold); 3—城镇(town); 4—井位(well)

行式排列(图 1). 盆地内主要发育北北东、北东东、北西、北北西向 4 组断裂,其中北北东向占 34%,北东东向占 15%左右,北西向占 20%左右,北北西向占 31%左右,断层规模较大.

2.4 生-储-盖组合分析

阜新盆地发育发展过程中,存在两套较稳定的湖湘沉积暗色泥岩,为有机质保存和转化提供了有利条件,形成了九佛堂组上段和沙海组四段两套生油气岩系.其中九佛堂组油气可自生自储,也可下生上储至沙海组下部地层中;沙海组四段油气可自生自储,也可上生下储至沙三段中,沙四段本身可作为良好的区域盖层.

1)气(油)源岩

九佛堂组、沙海组地层中赋存丰富的暗色泥、页岩,富含大量生物化石,具备良好的油气生成条件.

九佛堂组暗色泥岩沉积时期沉降幅度大,范围广,厚度 300~700 m,含丰富的介形类、叶肢介等生物化石,属半深水-深水湖泊相沉积.沙海组四段地层以暗色泥、页岩为主,厚度 400~600 m.该段具有岩性细、厚度大、层位稳定的特点,富含腹足、双壳等软体动物化石,属滨浅湖-半深水湖泊相沉积.根据热演化成熟

度,沙海组属低成熟—成熟阶段,九佛堂组属成熟—高成熟阶段,暗色泥岩有机质已经转化为烃,已生成油气资源^[21].

2) 储集层

研究区主要为砂岩储集层,具有连通空隙和储集空间的砂体均可作为储油、气层.九佛堂组地层含有砂岩、砂砾岩等粗碎屑岩,形成了自生自储的组合条件.沙海组三段地层以砂岩为主,孔隙度为15%~27%,可作为油气储存层位.

3) 盖层

盖层为位于储集层上方能够阻止油气体向上逸散的岩层.九佛堂组泥、页岩层具备盖层条件;沙海组四段泥岩、粉砂岩致密均一,发育稳定,可作为区域盖层.

3 煤层气资源

3.1 煤层气赋存特征

研究区为富煤带中心部位,煤层埋深为500~1 000 m.自上而下赋存水泉、孙本、中间、太平、高德五大可采煤层群,其中孙本、中间、太平煤层群全区发育,为煤层气勘探开发主要目的层.

该区域煤类以长焰煤为主,深部有少量气煤.镜煤最大反射率为0.60%,变质程度较低.该区煤层质轻、性脆、受力后易裂碎而不成粉,具有易改造、压裂效果良好的特点.主要煤层煤质化验结果如表2所示.

1) 煤层割理发育特征

研究区煤层割理形态以矩形和平行网状类型为

主,可见的面割理规模长度2 m以上.与面割理垂直的端割理,密度较小,规模较小.面割理的剖面形态与煤层面直交或以大于80°角度与层面近直交.割理在煤层中分布均匀,在剖面有时呈束状或成组产出.

2) 煤储层孔隙性

应用96组煤样的真密度与视密度计算煤层孔隙率^[22],可以得出,研究区煤层孔隙度为4.7%,天然焦孔隙度为7.4%.我国长焰煤、气煤的孔隙度一般为4.3%~5.9%之间,研究区煤层平均孔隙度属正常稍偏低.在靠近火成岩和变质天然焦区,因天然焦有特殊的气孔发育特征,孔隙度显著升高.随深度增加,孔隙度明显降低.随着煤层变质程度增高,其孔隙度降低.

3) 煤储层渗透性

煤层气勘探阶段采用裸眼注入/压降法试井测得3个主要储层段的渗透率数据,主要煤层渗透率如下:孙本煤层段渗透率0.428 mD,测试段厚27 m;中间煤层段渗透率0.469 mD,测试段厚度17.98 m;太平煤层段渗透率0.323 mD,测试段厚度59.59 m.

可以看出,该区储层渗透性在平面上和垂向上有较大差异,验证了该区储层的面割理发育程度大于端割理发育程度2倍.

4) 煤储层吸附-解吸特征

煤层气勘探阶段在LJ-1、LJ-2井中采集煤心样品20个,并进行了平衡水高压等温吸附测试,结果见表3.

表2 煤层煤质化验结果表

Table 2 Assay results of coal seam quality

煤层	真密度(TRD)	水分	灰分/%	挥发分/%	发热量/(MJ/kg)	硫/%	磷/%	黏结性	黏结指数	镜煤最大反射率	煤类划分
孙本煤层	1.54	5.67	21.26	39.72	23.69	0.87	0.021	2	2	0.58	长焰煤
		5.75	6.31	37.98	28.45	0.69					
中间煤层	1.50	4.78	20.27	41.01	24.84	0.92	0.019	3	8	0.59	长焰煤
		4.73	5.92	39.52	29.34	0.78					
太平煤层	1.51	5.29	21.43	39.44	25.78	0.95	0.026	4	28	0.60	长焰煤
		4.98	6.55	39.08	29.79	0.80					

测试单位:辽宁省东煤测试分析研究院有限责任公司.

表 3 煤储层等温吸附测试值

Table 3 Isothermal adsorption test values of coal reservoirs

煤层	兰氏体积(V_L)/(cm ³ /g)	兰氏压力(p_L)/MPa
孙本层	21.59	9.98
中间层	18.81	6.74
太平层	33.71	9.07

由等温吸附试验(图 2)可以看出,3 个储层的等温吸附曲线变化形态基本一致,即在同等压力条件下储层对甲烷的吸附量一致,曲线平滑,渐变幅度稳定,在储层压力范围内无明显突变点。

根据实测数据,分别计算出各储层实测临界解吸压力:孙本层 5.0 MPa,饱和度 85%;中间层 6.0 MPa,近饱和;太平层 6.6 MPa,饱和度 96%。由煤储层煤层气解吸值得出,该区煤储层平均解吸率为 90.68%,平均残余气率 9.32%,吸附时间 6~10 d。

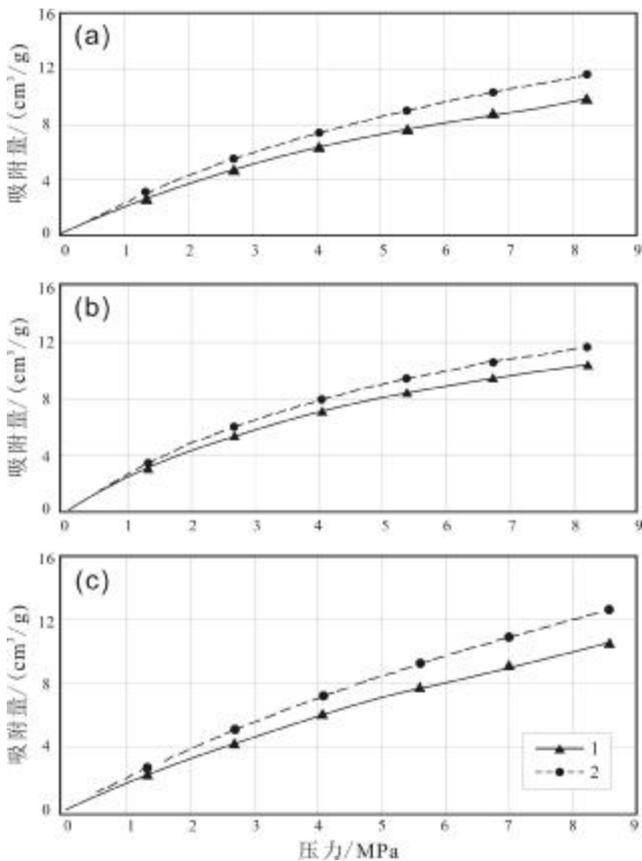


图 2 煤层等温吸附曲线

Fig. 2 Isothermal adsorption curves of coal reservoirs

a—孙本层(Sunben coal reservoir); b—中间层(intermediate coal reservoir); c—太平层(Taiping coal reservoir); 1—空气干燥基(air dried basis); 2—干燥无灰基(dry ash-free basis)

5)煤储层压力特征

根据 LJ-1 参数井裸眼试井,测得煤储层原始压力及应力参数见表 4。

表 4 主要煤层段储层压力特征值

Table 4 Eigenvalues of reservoir pressure in major coal seams

项目	孙本煤层	中间煤层	太平煤层
压力点深度/m	743.35	821.37	843.32
压力梯度/(MPa/100 m)	0.9071	0.8214	0.9768
储层压力/MPa	6.74	6.747	8.238
闭合压力/MPa	—	9.00	11.48
破裂压力/MPa	—	10.60	11.50
地应力梯度/(kPa/m)	—	0.013	0.0136

分析得出,孙本煤层和中间煤层为欠压储层,孙本煤层欠压幅度为 10%,中间煤层欠压幅度为 18%。太平煤层为平衡压力储层。孙本煤层实测临界解吸压力与储层压力比为 0.74,中间煤层临储压力比为 0.89,太平煤层临储压力比为 0.80。由此得出,该区地应力梯度约为 0.013 kPa/m,储层破裂压力为 10.6~11.5 MPa。

3.2 煤层气含气性

1)煤层气组分

根据煤心煤层气成分分析,研究区煤层气组分平均值为甲烷(CH₄) 87.58%,氮气(N₂) 9.20%,二氧化碳(CO₂) 3.18%,一氧化碳和重烃微量。

根据煤心解吸测试结果,甲烷含量变化较大,可能是由于钻孔采样方法和钻井液影响造成氮气升高,导致甲烷组分降低。在排采井口气流中,采得气体组分甲烷含量均在 97%~99%。

2)煤层气含量

在 LJ-1、LJ-2 井中采集煤心样品 20 个,根据兰米尔方程得到孙本、中间、太平煤层理论含气量的算数平均值(见表 5)。

根据实测及计算结果分析,研究区煤层气地质储量 17.03×10⁸ m³,为小型储量规模。含气面积 4.63 km²,储量丰度为 3.68×10⁸ m³/km²,为高丰度。根据煤层气参数及实验井排采情况,预计煤层气井平均日产能 3 000 m³,为中等产能。

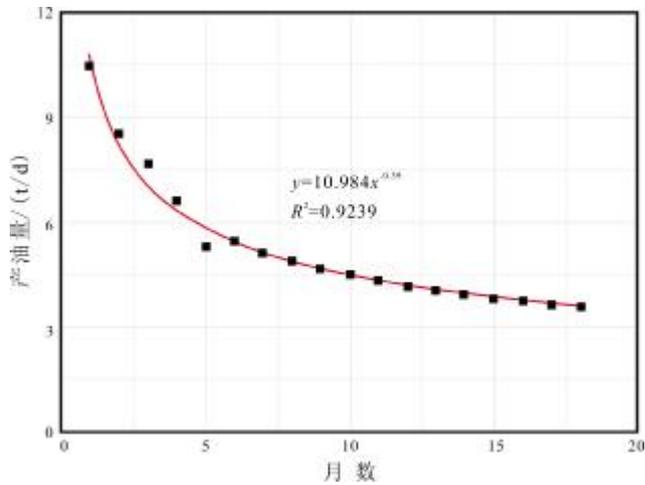


图3 辽阜地2井产量预测曲线图

Fig. 3 Oil production prediction curve of LFD-2 well

表5 各煤层含气量

Table 5 Gas content of each coal seam

煤层	理论含气量/(m ³ /t)	实测含气量/(m ³ /t)	平均含气量/(m ³ /t)
孙本层	8.72	5.65~9.52	7.88
中间层	9.41	7.82~9.83	8.49
太平层	10.17	7.00~12.50	9.16

4 石油资源

4.1 单井产能

辽阜地2井深度1200m^[23],油气产能测试148d,分3个阶段,共连续排采115d,累产液12539.79t,产油910.00t,产气137420m³.最高日产油16.86t,最高日产气2584m³.第三阶段稳定连续排采50d,平均日产液93.79t、日产油7.19t、日产气1798m³,含水92.3%,油气比250m³/t,油气当量8.69t/d.

根据产量统计结果,辽阜地2井日产油量呈指数递减规律,由此预测未来12个月的平均日产油量(图3).在现有开采方式条件下,第二年平均产油4.2t/d.按300d计算,年产能1260t,单井产能预计可以达到7.0t/d.

根据岩性、电性、沉积旋回和油水分布规律,辽阜地2井沙海组下段分为3个砂岩组,即砂岩组I、砂岩组II、砂岩组III.其中砂岩组I分布范围广,厚度大,岩性以砂砾岩为主,是未来勘探开发的主力层段.砂

岩组II以砂砾岩、粗砂岩为主,距离油源近,含油性好,是未来勘探开发的兼顾层,测井曲线图如图4所示.

4.2 原油分析测试

辽阜地2井原油同位素检测在东北石油大学完成,采用福立GC9790II气相色谱仪和Delta V plus同位素比值质谱仪,得到全油碳同位素值($\delta^{13}C$)为-29.64‰~-27.81‰,为II型有机质类型,即腐泥-腐植混合型.进一步证实了赵洪伟等^[24]对阜新地区烃源岩的评价结果.

辽阜地2井原油族组分检测采用YRE-2000型旋转蒸发器仪和ML204型电子天平,饱和烃含量为50%~81.25%,平均值为65.93%;芳烃含量为10.62%~16.96%,平均含量为13.79%;非烃+沥青质含量为8.13%~35.44%,平均为20.29%.原油族组分三角图(图5)显示,辽阜地2井原油以饱和烃为主,其他两种组分次之.

5 结论

1)辽阜地2井所在地区煤层气各储层临界解吸压力为:孙本层5.0MPa,饱和度85%;中间层6.0MPa,近饱和;太平层6.6MPa,饱和度96%.该区地应力梯度约为0.013kPa/m,煤层气储量评价为小型中产能气田.

2)辽阜地2井148d累计产液12539.79t、产油910.00t,产气137420m³,最高日产油16.86t,最高日产气2584m³,井区单井产能预计为7.0t/d.

参考文献(References):

- [1]何登发,李德生,童晓光,等.中国沉积盆地油气立体综合勘探论[J].石油与天然气地质,2021,42(2):265-284.
He D F, Li D S, Tong X G, et al. Integrated 3D hydrocarbon exploration in sedimentary basins of China[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(2): 265-284.
- [2]张功成,冯杨伟,屈红军.全球5个深水盆地带油气地质特征[J].中国石油勘探,2022,27(2):11-26.
Zhang G C, Feng Y W, Qu H J. Characteristics of petroleum geology of global five deep-water basin belts[J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(2): 11-26.
- [3]张光亚,温志新,刘小兵,等.全球原型盆地演化与油气分布[J].石油学报,2020,41(12):1538-1554.
Zhang Y G, Wen Z X, Liu X B, et al. Evolution of global proto-type basin and the petroleum distribution[J]. Acta Petroli Sinica, 2020,

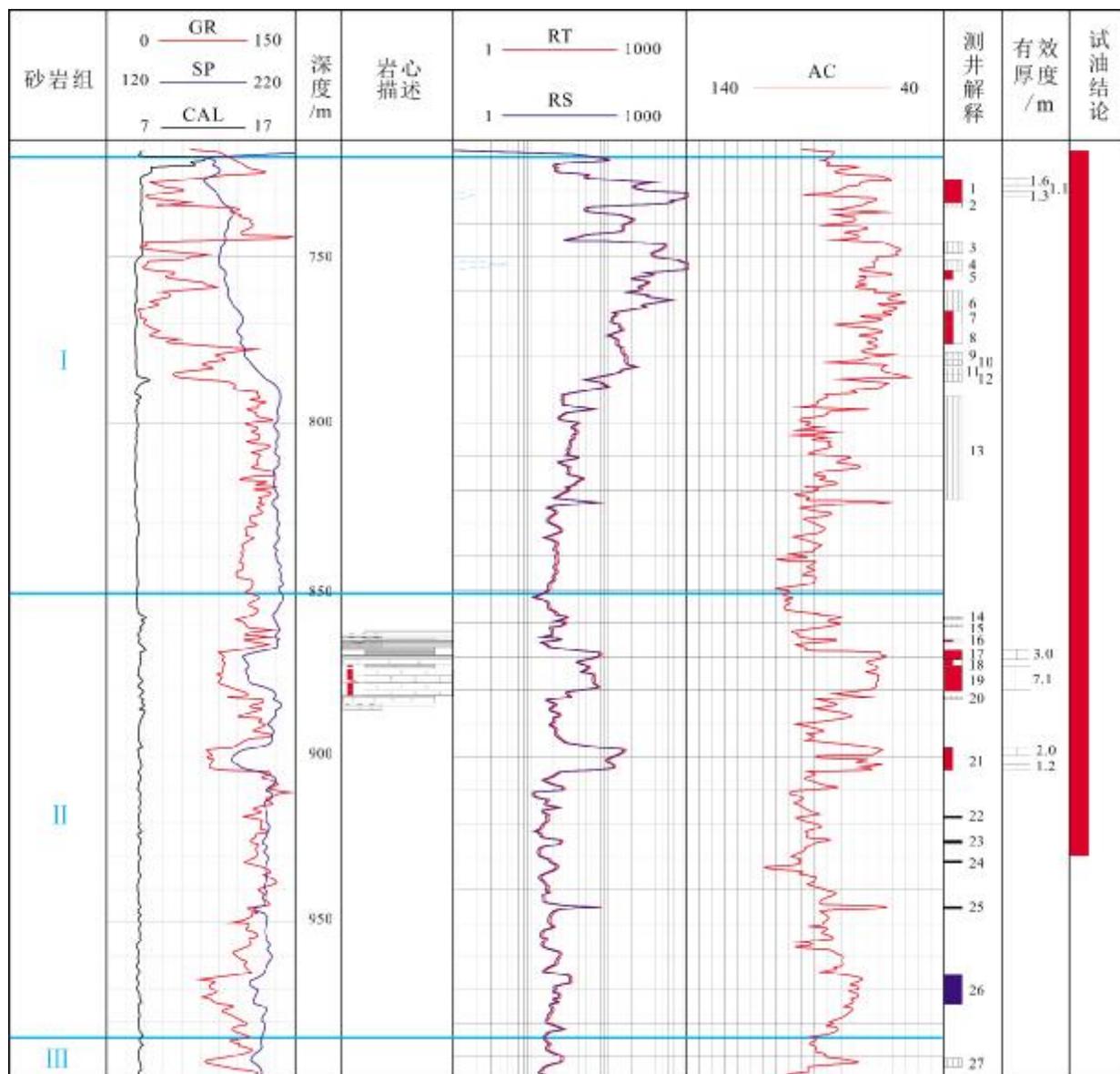


图 4 辽阜地 2 井测井曲线图
Fig. 4 Logging curves of LFD-2 well

41(12): 1538-1554.

[4]郑民, 李建忠, 吴晓智, 等. 我国主要含油气盆地油气资源潜力及未来重点勘探领域[J]. 地球科学, 2019, 44(3): 833-847.
Zheng M, Li J Z, Wu X Z, et al. Potential of oil and natural gas resources of main hydrocarbon-bearing basins and key exploration fields in China[J]. Earth Science, 2019, 44(3): 833-847.

[5]张蔚, 刘成林, 吴晓智, 等. 中国不同类型盆地油气资源丰度统计特征及预测模型[J]. 地质与勘探, 2019, 55(6): 1518-1527.
Zhang W, Liu C L, Wu X Z, et al. Statistical characteristics and prediction models for oil and gas resources abundance in different types of Chinese basins[J]. Geology and Exploration, 2019, 55(6): 1518-1527.

[6]管晋红. 含油气盆地构造与成藏规律分析[J]. 石化技术, 2021, 28(10): 140-141.
Guan J H. Coupling analysis of petroliferous basin structure and reservoir formation regularity[J]. Petrochemical Industry Technology, 2021, 28(10): 140-141.

[7]王雅婷. 含油气盆地油气成藏过程综述[J]. 化工设计通讯, 2019, 45(9): 246, 264.
Wang Y T. Summary of petroleum accumulation in petroleum-bearing basins[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2019, 45(9): 246, 264.

[8]陈建宏, 栾锡武, 魏新元, 等. 安达曼海丹老盆地油气地质特征及勘探潜力分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(13): 5154-5162.

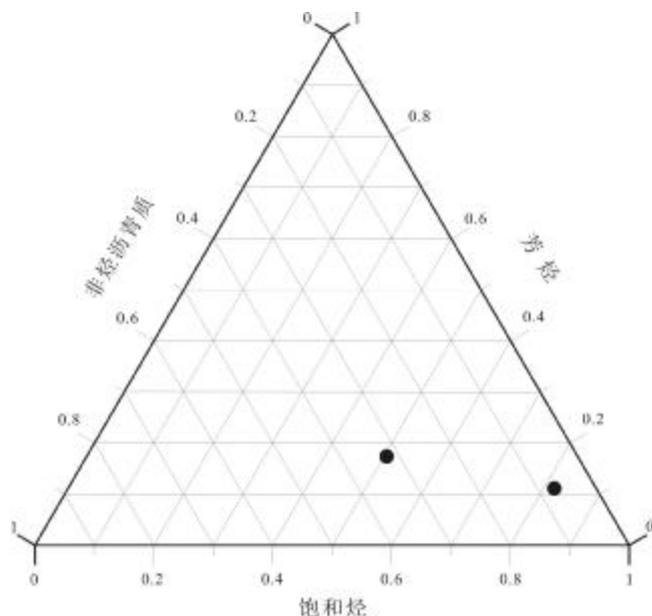


图5 辽阜地2井原油族组分三角图

Fig. 5 Triangular diagram of crude oil group components of LFD-2 well

Chen J H, Luan X W, Wei X Y, et al. Analysis of hydrocarbon geological characters and exploration potential in Mergui basin, Andaman sea [J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22 (13): 5154-5162.

[9] 李国欣, 石亚军, 张永庶, 等. 柴达木盆地油气勘探-地质认识新进展及重要启示[J]. 岩性油气藏, 2022, 34(6): 1-18.

Li G X, Shi Y J, Zhang Y S, et al. New progress and enlightenment of oil and gas exploration and geological understanding in Qaidam Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2022, 34(6): 1-18.

[10] 刘池洋, 王建强, 张东东, 等. 鄂尔多斯盆地油气资源丰富的成因与赋存-成藏特点[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(5): 1011-1029.

Li C Y, Wang J Q, Zhang D D, et al. Genesis of rich hydrocarbon resources and their occurrence and accumulation characteristics in the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(5): 1011-1029.

[11] 董清水, 高屹, 王立贤, 等. 松辽盆地外围东南部中生代残留盆地相互关系及油气勘探前景[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 273-283.

Dong Q S, Gao Y, Wang L X, et al. Interrelation between Mesozoic residual basins in the southeastern periphery of Songliao Basin and oil-gas exploration prospect [J]. Geology and Resources, 2021, 30 (3): 273-283.

[12] 王亮. 松辽盆地西斜坡上白垩统油气运移规律研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.

Wang L. Study on the petroleum migration law of the Upper Cretaceous in the west slope of Songliao Basin [D]. Beijing: China University of

Geosciences (Beijing), 2020.

[13] 周亚龙, 杨志斌, 张舜尧, 等. 塔里木盆地北部油气地球化学特征及异常成因探讨[J]. 地质学报, 2022, 96(7): 2547-2561.

Zhou Y L, Yang Z B, Zhang S Y, et al. A discussion on the hydrocarbon geochemical characteristics and anomaly genesis in the northern Tarim Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96 (7): 2547-2561.

[14] 丛富云. 塔里木盆地塔北隆起中西部下古生界深层油气成藏过程[D]. 武汉: 中国地质大学, 2021.

Cong F Y. Hydrocarbon accumulation processes of the Lower Paleozoic deep reservoirs in the central and western part of Tabei Uplift, Tarim Basin [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2021.

[15] 李成明, 刘俊田, 倪联斌, 等. 吐哈盆地深层地质结构特征及油气勘探前景[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(4): 44-57.

Li C M, Liu J T, Ni L B, et al. Characteristics of deep geological structure and petroleum exploration prospect in Turpan-Hami Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(4): 44-57.

[16] 赵洪伟, 张德军. 阜新改造型盆地油气评价及勘探方向[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 306-316.

Zhao H W, Zhang D J. Hydrocarbon evaluation and exploration direction of Fuxin reformed basin [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 306-316.

[17] 徐威. 阜新盆地东梁构造带油气资源评价[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(5): 79-81.

Xu W. Evaluation of oil and gas resources in the Dongliang tectonic zone of the Fuxin Basin [J]. Technology Innovation and Application, 2022, 12(5): 79-81. (in Chinese)

[18] 杨冬霞. 通辽-双辽地区早期地质综合评价研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2009.

Yang D X. An early stage comprehensive geology evaluation study on oil-gas resources between Tongliao and Shuangliao zone [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2009.

[19] 马晓娟. 中国石化松辽盆地新登区块石油地质特征及勘探方向[D]. 长沙: 中南大学, 2007.

Ma X J. Petroleum geological characteristics and exploration direction of Xin Deng block in Songliao basin of Sinopec [D]. Changsha: Central South University, 2007. (in Chinese)

[20] 张德军, 赵洪伟, 陈树旺, 等. 阜新盆地辽阜地2井下白垩统岩石地层特征[J]. 地质与资源, 2021, 30(3): 325-332.

Zhang D J, Zhao H W, Chen S W, et al. Lithostratigraphic characteristics of LFD-2 well in Fuxin Basin [J]. Geology and Resources, 2021, 30(3): 325-332.

[21] 赵儒. 阜新盆地勘探决策分析[J]. 天然气工业, 2003, 23(6): 58-61.

Zhao R. Exploration decision in Fuxin basin [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(6): 58-61.

- Cai Z J, Wu S L. Remote sensing analysis of the coastline development in Jiangsu Province [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2002, 53(3): 19-23.
- [13] 林辉, 童显德, 黄忠义. 遥感技术在我国林业中的应用与展望[J]. *遥感信息*, 2002(1): 39-43, 51.
- Lin H, Tong X D, Huang Z Y. A review on remote sensing's application, puzzle and prospect in forestry [J]. *Remote Sensing Information*, 2002(1): 39-43, 51.
- [14] 姚远, 陈曦, 钱静. 遥感数据在农业旱情监测中的应用研究进展[J]. *光谱学与光谱分析*, 2019, 39(4): 1005-1012.
- Yao Y, Chen X, Qian J. Advance in agricultural drought monitoring using remote sensing data [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2019, 39(4): 1005-1012.
- [15] 江山, 张渝金, 汪岩, 等. 基于 Landsat8 OLI 数据的遥感蚀变异常提取应用研究——以内蒙古阿鲁科尔沁旗地区为例[J]. *地质与资源*, 2018, 27(1): 93-98.
- Jiang S, Zhang Y J, Wang Y, et al. Application of alteration anomaly extraction by remote sensing based on Landsat 8 OLI data: A case study of Ar Horqin Qi, Inner Mongolia [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(1): 93-98.
- [16] 徐南. 利用美国陆地卫星监测 1987—2016 年全球海岸线变化[D]. 北京: 清华大学, 2019.
- Xu N. Monitoring global coastline changes over 1987-2016 using Landsat data[D]. Beijing: Tsinghua University, 2019.
- [17] 杜家伟, 柯丽娜, 李钰, 等. 大连市海岸线及围填海时空演变分析[J]. *国土与自然资源研究*, 2017(6): 31-34.
- Du J W, Ke L N, Li Y, et al. Analysis of temporal and spatial evolution of coastline and reclamation in Dalian [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2017(6): 31-34.
- [18] 施佩歆, 王福, 商志文, 等. 津冀海岸线现状、变化特征及保护建议[J]. *地质通报*, 2016, 35(10): 1630-1637.
- Shi P X, Wang F, Shang Z W, et al. The present situation and changing characteristics of the shorelines along Tianjin-Hebei coastal areas and proposal for protection [J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(10): 1630-1637.
- [19] 王雪鸽, 李晓燕, 贾明明, 等. 1975~2015 年大连市海岸线变迁和围填海变化[J]. *海洋环境科学*, 2017, 36(1): 87-93.
- Wang X G, Li X Y, Jia M M, et al. Analysis on changes in coastline and reclamation in Dalian from 1975 to 2015 [J]. *Marine Environmental Science*, 2017, 36(1): 87-93.
- [20] 黄婷, 师庆三, 师庆东, 等. 利用高分辨率影像验证低分辨率遥感数据的分类精度研究[J]. *新疆大学学报(自然科学版)*, 2013, 30(2): 238-242.
- Huang T, Shi Q S, Shi Q D, et al. Validate classification precision of low spatial resolution remote sensing data by using high spatial resolution data [J]. *Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition)*, 2013, 30(2): 238-242.
- [21] 陈曦, 倪金, 祁智武, 等. 辽宁省海岸线近百年变迁特征分析[J]. *地质与资源*, 2011, 20(5): 354-357.
- Chen X, Ni J, Bin Z W, et al. Research on the changes of coastlines in Liaoning Province in a century [J]. *Geology and Resources*, 2011, 20(5): 354-357.
- [22] 马宏伟, 冯雨林, 崔健, 等. 基于遥感和 GIS 技术的辽河三角洲岸线变迁与成因分析[J]. *地质通报*, 2014, 33(10): 1578-1581.
- Ma H W, Feng Y L, Cui J, et al. An analysis of shoreline changes in Liaohe River delta based on remote sensing and GIS technology [J]. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(10): 1578-1581.

(上接第 48 页/Continued from Page 48)

- [22] 李子文, 林柏泉, 郝志勇, 等. 煤体多孔介质孔隙度的分形特征研究[J]. *采矿与安全工程学报*, 2013, 30(3): 437-442, 448.
- Li Z W, Lin B Q, Hao Z Y, et al. Fractal characteristics of porosity for porous media in coal mass [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2013, 30(3): 437-442, 448.
- [23] 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.
- [24] 赵洪伟, 张德军, 陈树旺, 等. 阜新盆地辽阜地 2 井沙海组烃源岩地球化学特征及油源对比[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2021, 48(5): 582-590.
- Zhao H W, Zhang D J, Chen S W, et al. Geochemical characteristics and oil-source correlation of Shapai Formation hydrocarbon source rocks in Well Liaofudi 2, Fuxin Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2021, 48(5): 582-590.