

陆相页岩油水平井开发合理生产制度优化 ——以苏北盆地A区块阜二段为例

葛政俊¹, 罗钰涵², 谌廷珊¹, 毕天卓¹, 卢显荣¹

(1. 中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 江苏 扬州 225009; 2. 中国石化江苏油田分公司开发管理部, 江苏 扬州 225009)

摘要: 为了最大限度提高陆相页岩油全生命周期的采收率, 并建立其水平井开发的合理生产制度。选取苏北盆地A区块阜二段为靶区, 利用井震资料开展储层发育特征研究, 建立“地质—开发—地应力—裂缝扩展”的地质工程一体化模型, 进而对页岩油水平井开发合理生产制度进行优化研究。研究表明岩石类型、裂缝分布、岩石力学参数和工程施工参数是影响页岩油地质工程一体化模型精度的关键因素, 确定了压后合理开井时间为20 d、合理生产压差为10 MPa、CO₂合理吞吐时机为井口压力下降至1.5 MPa左右、CO₂合理吞吐焖井时间为15 d, 形成了页岩油水平井开发合理生产制度优化流程。研究成果对陆相页岩油长期稳产和效益开发具有重要支撑作用。

关键词: 生产制度; 一体化模型; 水平井; 页岩油; 苏北盆地

中图分类号: TE34 **文献标志码:** A

Optimization of rational production system for horizontal well development in continental shale oil: A case of the second member of Funing Formation in Block A of Subei Basin

GE Zhengjun¹, LUO Yuhuan², CHEN Tingshan¹, BI Tianzhuo¹, LU Xianrong¹

(1. Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China;

2. Development Management Department of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: To maximize the recovery rate of continental shale oil during its whole life cycle, a reasonable production system is established for horizontal well development. In the target area of the second member of the Funing Formation of Block A in the Subei Basin, the reservoir development characteristics were studied by using well seismic data. The integrated geoengineering model of “geology–development–geostress–fracture propagation” was established to optimize the rational production system for shale oil horizontal well development. The results show that rock type, fracture distribution, rock mechanical parameters, and engineering construction parameters are the key factors affecting the accuracy of the integrated geological engineering model for shale oil. The reasonable well opening time after fracturing is determined to be 20 days, the suitable production pressure difference is 10 MPa, the reasonable CO₂ stimulation timing is the wellbore pressure dropping to about 1.5 MPa, and the reasonable CO₂ stimulation soaking time is 15 days, forming the optimization process of the reasonable production system for shale oil horizontal well development. The research results play an important role in supporting continental shale oil’s long-term stable production and efficient development.

Key words: production system; integrated model; horizontal well; shale oil; Subei Basin

引用格式: 葛政俊, 罗钰涵, 谌廷珊, 等. 陆相页岩油水平井开发合理生产制度优化——以苏北盆地A区块阜二段为例[J]. 复杂油气藏, 2024, 17(1): 56-61, 69.

GE Zhengjun, LUO Yuhuan, CHEN Tingshan, et al. Optimization of rational production system for horizontal well development in continental shale oil: A case of the second member of Funing Formation in Block A of Subei Basin [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(1): 56-61, 69.

收稿日期: 2023-11-24; 改回日期: 2024-01-22。

第一作者简介: 葛政俊(1981—), 硕士, 高级工程师, 主要从事油气田开发工作。E-mail: gezj.jsyt@sinopec.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于储层构型理论解析的三角洲相致密砂岩储集性多级次表征研究”(42172161)。

中国陆相页岩油可采资源量 55×10^8 t、探明地质储量 6.24×10^8 t, 目前在松辽、渤海湾、鄂尔多斯、准噶尔和三塘湖等盆地均取得了良好的开发先导试验, 页岩油正在逐步成为我国能源接替的重要非常规资源之一^[1-5]。页岩油水平井压裂开发初期, 通常采用衰竭式开发, 由于无持续能量补充, 开发过程中当地层压力较低时会造成人工裂缝闭合, 导致油井产量呈“L型”快速递减(年递减率可达70%), 单井最终可采储量(EUR)损失较大, 因此, 制定合理的生产制度是保障页岩油最大采收率的重要手段^[6-9]。国内准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组、鄂尔多斯盆地庆城油田长7段、松辽盆地古龙凹陷青山口组和渤海湾盆地沧东凹陷孔二段均开展了页岩油水平井开发的评价方法及技术界限研究^[10-15], 但整体上均处于早期的定性探索阶段。对比北美页岩油, 中国页岩油形成于陆相湖盆, 具有多期构造演化、多个物源体系、多种岩性类型和多变储层参数的特点, 造成储层质量空间复杂多变, 需要建立针对陆相页岩油水平井高效开发的合理生产制度优化方法。

2021年以来, 中国石化江苏油田苏北盆地阜二段部署实施多口页岩油水平井, 取得了重大战略性突破, 但由于页岩油储层非均质性强、渗流规律认识不清和地质、工程双重因素影响^[16-17], 以往建立的常规油藏工程方法对于页岩油水平井开发适应性较差, 需要开展针对性的合理生产制度优化研究。通过油藏数值模拟方法, 建立苏北盆地A区块阜二段“地质—开发—地应力—裂缝扩展”一体化模型, 深入分析合理生产制度对页岩油开发效果的影响, 最终建立了基于地质工程一体化方法的页岩油水平井开发合理生产制度优化方法, 其研究成果对陆相强非均质性页岩油快速建产和效益开发具有重要指导作用。

1 研究区构造特征和储层特征

苏北盆地是在白垩系基底之上形成的中新世代断陷湖盆, 地域上横跨安徽省和江苏省, 面积约 3.5×10^4 km²^[18]。A区块是苏北盆地中南部的一个富油生烃凹陷, 研究区阜二段页岩油资源丰富, 目前已有多口井在阜二段泥页岩层系中获得了工业油流, 展示出良好的页岩油勘探开发效果。构造顶面整体呈北西高和东南低的特征, 油藏埋深2 700~4 200 m, 平均孔隙度5.6%; 构造裂缝发育, 取心井

揭示有效裂缝类型为正向剪切缝和低角度层理缝; 储层充填类型包括方解石充填和泥质充填, 其中部分方解石后期被溶蚀改造; 页岩储层纹层结构发育, 主要表现为长英质纹层和泥质纹层。地面原油密度为0.85~0.88 g/cm³, 50℃条件下地面原油黏度为17.6~57.6 mPa·s; 原油族组分以饱和烃为主, 占比介于63.16%~65.58%; 天然气以甲烷为主, 平均为65.69%; 地层水总矿化度20 022~35 819 mg/L, 氯离子含量10 184~20 547 mg/L, 水型为NaHCO₃型, pH值接近中性。

2 页岩油地质工程一体化模型建立

地质(包括储层空间表征、三维地质建模、岩石力学参数等)和工程(包括钻井轨迹参数、生产动态指标、开发方案优化等)的有机融合是实现陆相页岩油水平井高效开发的核心^[19]。传统的储层描述表征、三维地质建模、油藏数值模拟和裂缝动态扩展等研究, 存在阶段成果衔接性壁垒, 造成各阶段成果之间无法实现互相转换, 特别是在油藏数值模拟过程中只能采用等效方式进行过程拟合, 陆相页岩油储层变化快, 开发过程中井控程度低, 压裂改造体积和压裂后油藏数值模拟精度对于产能预测结果及生产制度界限影响较大。

利用斯伦贝谢公司的地质工程一体化软件平台, 首先采用井筒资料和三维地震储层反演方法将研究区储层岩性类型划分为辉绿岩(重构后的波阻抗曲线值小于1 500)、灰黑色泥岩(重构后的波阻抗曲线值介于1 500~3 550)、灰质泥岩(重构后的波阻抗曲线值介于3 550~5 100)和粉砂岩及其他岩性(重构后的波阻抗曲线值大于5 100)。采用三维地震的曲率属性、最大似然属性、线性增强属性和倾角增强属性对储层裂缝分布进行预测(天然裂缝发育, 以近东西向和北东向为主)。利用取心井室内实验获取页岩油储层的杨氏模量、泊松比及不同岩性抗张强度参数, 深入剖析储层发育特征与测井解释结果的相关性, 总结出岩石力学参数图版。在上述研究基础上, 建立研究工区的地质模型和地应力模型, 通过输入相关工程施工参数, 建立页岩油裂缝动态扩展模型, 综合油藏数值模拟结果, 最终建立研究区阜二段“地质—开发—地应力—裂缝扩展”一体化模型(见图1), 为研究区页岩油水平井压裂开发合理生产制度优化研究奠定坚实基础。

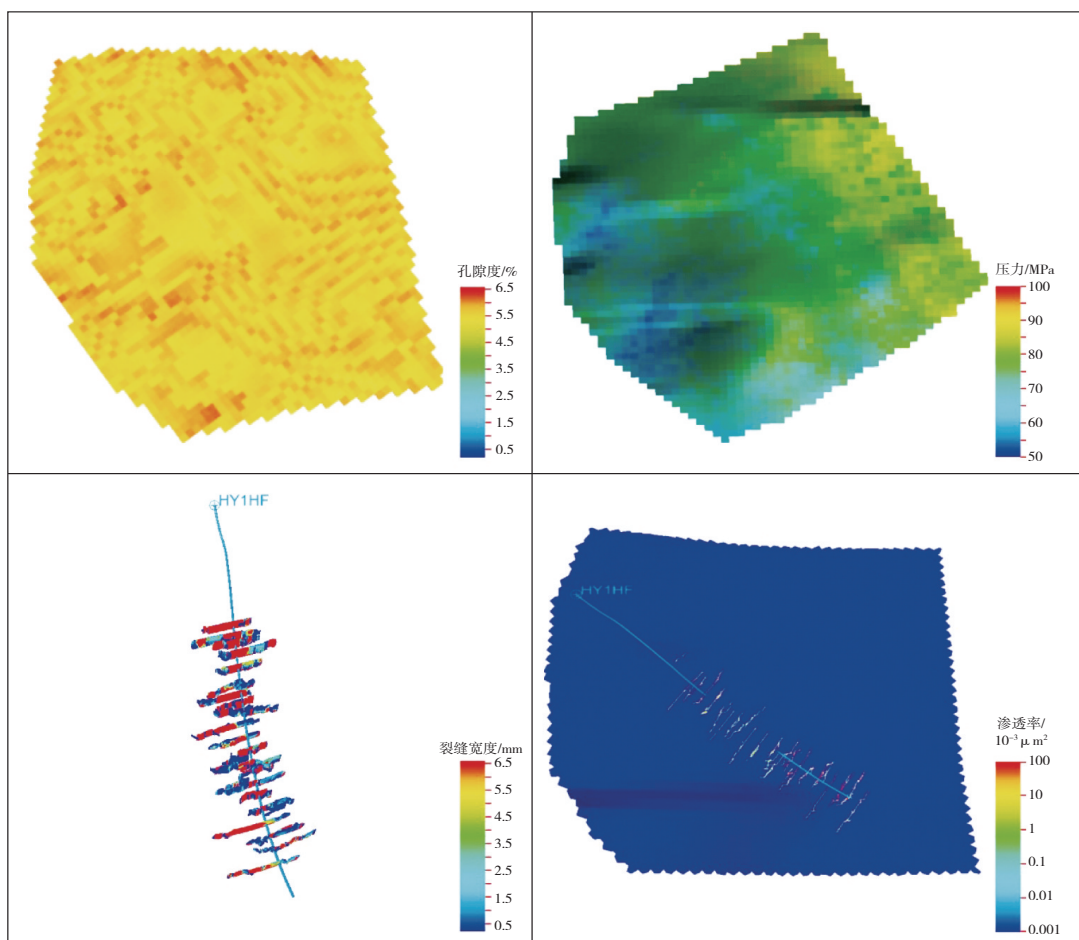


图1 阜二段页岩油地质工程一体化模型

3 页岩油水平井开发合理生产制度

生产制度是否合理会导致页岩油生产动态特征存在明显差异^[20]。以苏北盆地A区块阜二段为例,该区块采取W型五点法布井方式、400 m井距和水平段长度1 500~2 000m。利用地质工程一体化数值模拟技术,通过优化页岩油开发过程中的压后合理开井时间、衰竭式开发阶段合理生产压差、合理吞吐时机和合理焖井时间^[21],最终确定研究区页岩油水平井开发全周期合理生产制度对应的关键阈值指标。

3.1 压后合理焖井时间优化

页岩油水平井开发压裂完成后,大量压裂液随裂缝进入储层,这部分压裂液在造缝的同时,同样具有补能作用^[22]。水平井压裂完成后需要关井一段时间,主要有两方面作用:一是压裂液与基质孔隙中的油由于受到毛细管力的作用,在此期间进行有效渗吸置换;二是在关井期间完成压力扩散,增加裂缝附近基质的压力,同时增强基质内流体的流

动能力。但如果压裂后焖井时间过长,基质中的油会逐渐侵占裂缝孔隙表面,渗吸速度逐渐减小,同时压力扩散速度也会降低,对改善页岩油储层开发效果帮助不大,反而影响油井的有效生产时间。因此,开展页岩油水平井压后合理开井时间优化十分必要。通过系统模拟了页岩油水平井开井时间为压裂后的第5 d至第25 d,根据油藏数值模拟结果曲线对比分析,压裂后关井20 d以后,井组日产油增幅开始不明显,因此,选定研究区页岩油水平井开发的最佳压后开井时间为20 d(见图2)。

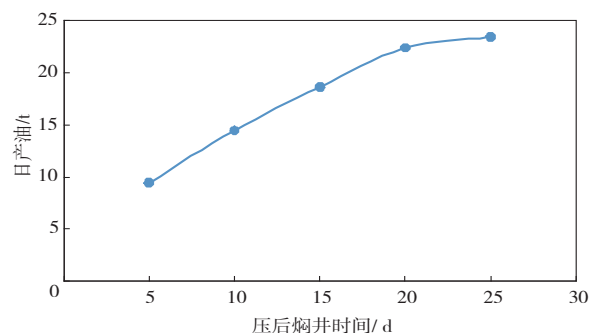


图2 阜二段不同压后焖井时间日产油特征

3.2 衰竭式开发阶段合理生产压差优化

加大生产压差是提高页岩油初期产能和快速收回投资成本的有效手段之一^[23]。生产压差过大易出现裂缝闭合较快,基质内剩余油无法流动到裂缝之中被油井采出的问题;生产压差过小未达到启动压力梯度同样会出现基质内剩余油无法采出的问题。因此,合理的生产压差对页岩油稳产和提高累计产量具有双重重要作用。利用地质工程一体

化模型开展页岩油合理生产压差研究,设计生产压差分别为5 MPa、10 MPa和20 MPa。根据数值模拟结果对比分析,当生产压差在10 MPa时,页岩油储层平面动用范围最大,动用后剩余油饱和度最低。根据累计产油曲线对比分析,当生产压差较大时,前期产量高但后期递减快,累计产油量低。因此,最终确定研究区阜二段页岩油水平井开发合理生产压差在10 MPa最合理(见图3)。

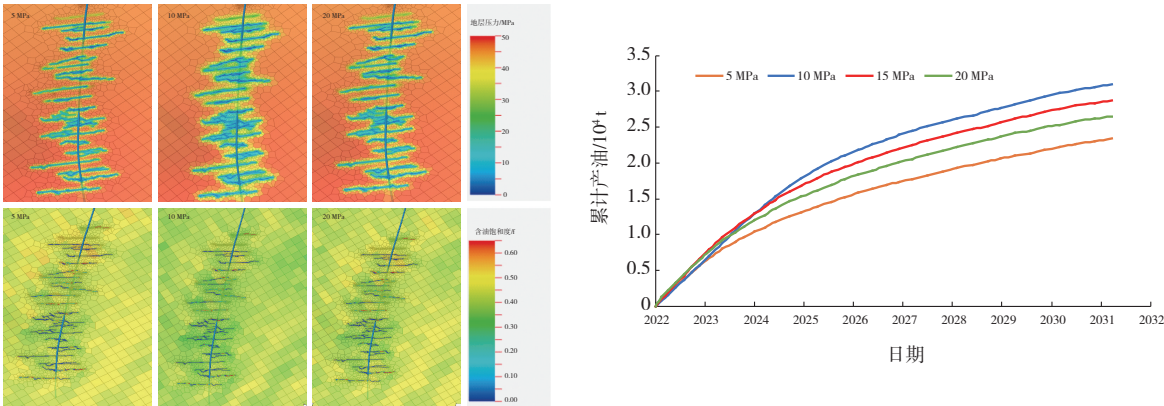


图3 阜二段不同生产压差下的压力场、剩余油饱和度和累计产油

3.3 合理吞吐时机优化

页岩油投产初期依靠天然能量开发,地层压力会显著降低,根据裂缝导流能力与开采时间关系曲线分析得出,随着地层能力的降低,裂缝导流能力明显下降^[24]。通过对研究区阜二段水平井进行数值模拟,得出地层压力与单井产能呈正相关关系,根据压力与日产油分析,可以得出井口压力下降至1.5 MPa以后单井产能呈现出一个明显下降的趋势。

吞吐时机过早会影响有效生产时间和累计产油量;吞吐时机过晚会导致地层能量亏空和产量迅速递减。

基于上述研究认识,选取井口压力下降至0.5 MPa、1 MPa、1.5 MPa和2 MPa分别进行页岩油CO₂吞吐时机数值模拟研究,最终确定研究区阜二段页岩油井口压力下降至1.5 MPa时进行吞吐,单井采收率最高(见图4)。

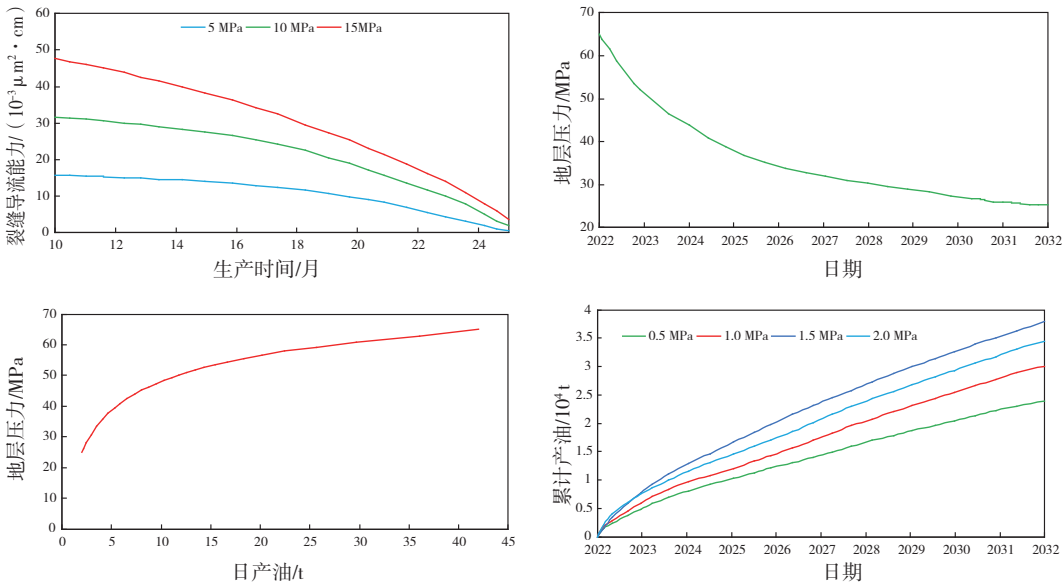


图4 阜二段不同吞吐时机的日产油、累计产油与压力关系

3.4 合理焖井时间优化

焖井时间过长影响生产时间,焖井时间过短影响渗吸置换和压力扩散。设计吞吐周期平均2 a一次,合理焖井时间分别为30 d、60 d和90 d,利用数值模拟累计产油量和日产油量进行结果对比分析。

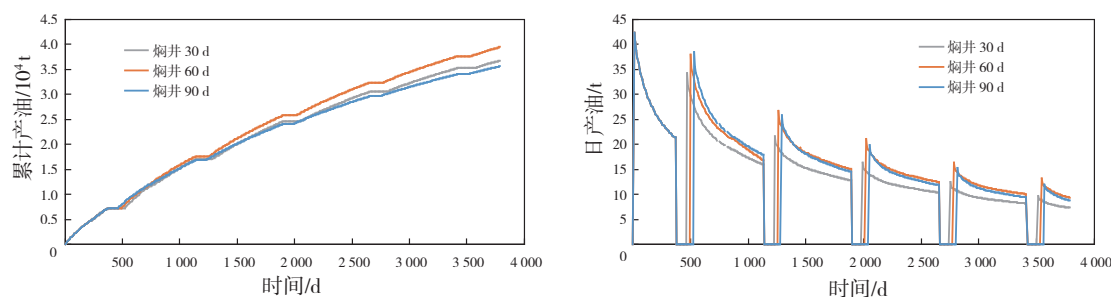


图5 阜二段不同焖井时间累计产油和日产油

4 结论

(1)建立了基于地质工程一体化方法的“地质、开发、地应力、裂缝扩展”模型,实现了页岩油开发效果评价的全流程无缝衔接,该方法提高了页岩油模型精度、优化了合理生产制度、实现了产能科学预测。

(2)确定了苏北盆地A区块阜二段页岩油水平井开发的4项生产制度:压后合理开井时间为20 d,合理生产压差为10 MPa,合理吞吐时机为井口压力下降至1.5 MPa和吞吐合理焖井时间为60 d。

(3)建立了陆相页岩油水平井开发的生产制度优化流程:首先建立“地质—开发—地应力—裂缝扩展”一体化模型;其次优化压裂后合理开井时间、开井后衰竭式开发合理生产压差;最后优化吞吐阶段的时机和焖井时间。

参考文献:

- [1] 孙龙德,刘合,何文渊,等.大庆古龙页岩油重大科学问题与研究路径探析[J].石油勘探与开发,2021,48(3):453-463.
SUN Longde, LIU He, HE Wenyuan, et al. An analysis of major scientific problems and research paths of Gulong shale oil in Daqing Oilfield, NE China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(3):453-463.
- [2] 金成志,董万百,白云凤,等.松辽盆地古龙页岩岩相特征与成因[J].大庆石油地质与开发,2020,39(3):35-44.
JIN Chenzhi, DONG Wanbai, BAI Yunfeng, et al. Lithofacies characteristics and genesis analysis of Gulong shale in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield

当焖井时间为90 d时,开井后的单井产油量明显高于其他方案,但10 a内的累计生产时间较短和累计产油量较低;当焖井时间为30 d时,累计产油量中等,但日产油量低。为此通过对比研究,确定研究区最佳焖井时间为60 d(见图5)。

- Development in Daqing, 2020, 39(3):35-44.
- [3] 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.
 - [4] 慕立俊,赵振峰,李宪文,等.鄂尔多斯盆地页岩油水平井细切割体体积压裂技术[J].石油与天然气地质,2019,40(3):626-635.
MU Lijun, ZHAO Zhenfeng, LI Xianwen, et al. Fracturing technology of stimulated reservoir volume with subdivision cutting for shale oil horizontal wells in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(3):626-635.
 - [5] 石道涵,张兵,何举涛,等.鄂尔多斯长7致密砂岩储层体积压裂可行性评价[J].西安石油大学学报(自然科学版),2014,29(1):52-55.
SHI Daohan, ZHANG Bing, HE Jutao, et al. Feasibility evaluation of volume fracturing in Ordos Chang 7 tight sandstone reservoir [J]. Journal of Xi'an Petroleum University (Natural Science Edition), 2014, 29(1):52-55.
 - [6] 霍进,何吉祥,高阳,等.吉木萨尔凹陷芦草沟组页岩油开发难点及对策[J].新疆石油地质,2019,40(4):379-388.
HUO Jin, HE Jixiang, GAO Yang, et al. Difficulties and countermeasures of shale oil development in Lucaogou Formation of Jimsar Sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(4):379-388.

- [7] 施立志,王卓卓,张革,等. 松辽盆地齐家地区致密油形成条件与分布规律[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(1): 44-50.
SHI Lizhi, WANG Zhuozhuo, ZHANG Ge, et al. Distribution and formation of tight oil in Qijia area, Songliao Basin, NE China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(1):44-50.
- [8] 杨智,侯连华,陶士振,等. 致密油与页岩油形成条件与“甜点区”评价[J]. 石油勘探与开发, 2015, 45(5): 555-565.
YANG Zhi, HOU Lianhua, TAO Shizhen, et al. Formation conditions and “sweet spot” evaluation of tight oil and shale oil [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 45(5):555-565.
- [9] 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 Yuhua, LIANG Jiangping, ZHANG Jinyou, et al. Resource potential and exploration direction of Gulong shale oil Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oil-field Development in Daqing, 2020, 39(3):20-34.
- [10] 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):184-196.
JIANG Zaixing, ZHANG Wenzhao, LIANG Chao, et al. Characteristics and evaluation elements of shale oil reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(1):184-196.
- [11] 庞彦明,张元庆,蔡敏,等. 松辽盆地古龙页岩油水平井开发技术经济界限[J]. 大庆石油地质与开发, 2021, 40(5):134-143.
PANG Yanming, ZHANG Yuanqing, CAI Min, et al. Technical and economic limit of horizontal well development for Gulong shale oil in Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2021, 40(5):134-143.
- [12] 谢建勇,崔新疆,李文波,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷页岩油效益开发探索与实践[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(1):99-110.
XIE Jianyong, CUI Xinjiang, LI Wenbo, et al. Exploration and practice of benefit development of shale oil in Jimsar Sag, Junggar Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(1):99-110.
- [13] 付锁堂,金之钧,付金华,等. 鄂尔多斯盆地延长组7段从致密油到页岩油认识的转变及勘探开发意义[J]. 石油学报, 2021, 42(5):561-569.
FU Suotang, JIN Zhijun, FU Jinhua, et al. Transformation of understanding from tight oil to shale oil in the member 7 of Yanchang Formation in Ordos Basin and its significance of exploration and development [J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(5):561-569.
- [14] 赵贤正,周立宏,蒲秀刚,等. 湖相页岩型页岩油勘探开发理论与实践——以渤海湾盆地沧东凹陷古近系孔店组为例[J]. 石油勘探与开发, 2022, 49(3): 616-626.
ZHAO Xianzheng, ZHOU Lihong, PU Xiugang, et al. Theories, technologies and practices of lacustrine shale oil exploration and development: A case study of Paleogene Kongdian Formation in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin, China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(3):616-626.
- [15] SU Y L, ZHANG Q, WANG W D, et al. Performance analysis of a composite dual-porosity model in multi-scale fractured shale reservoir [J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, 26:1107-1118.
- [16] 苏玉亮,鲁明晶,李萌,等. 页岩油藏多重孔隙介质耦合流动数值模拟[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(3):645-652, 660.
SU Yuliang, LU Mingjing, LI Meng, et al. Numerical simulation of shale oil coupled flow in multi-pore media [J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(3):645-652, 660.
- [17] SONG W H, YAO J, LI Y, et al. Apparent gas permeability in an organic-rich shale reservoir [J]. Fuel, 2016, 181:973-984.
- [18] 赖锦,凡雪纯,黎雨航,等. 苏北盆地古近系阜宁组页岩七性关系与三品质测井评价[J]. 地质论评, 2022, 68(2):751-768.
LAI Jin, FAN Xuechun, LI Yuhang, et al. Well logging evaluation of seven kinds of relationships and three types of properties of Paleogene Funing Formation oil shales in Subei Basin [J]. Geological Review, 2022, 68(2):751-768.
- [19] 刘珊珊,蒋宏伟,赵亦朋,等. 地质工程一体化油藏模型高效可视化技术[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2021, 36(4):58-67.
LIU Shanshan, JIANG Hongwei, ZHAO Yipeng, et al. Efficient visualization technology of geology-engineering integration reservoir model [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2021, 36(4):58-67.
- [20] 程晓军. 超深断溶体油藏油井见水特征及生产制度优化——以塔里木盆地顺北油田Z井为例[J]. 新疆石油地质, 2021, 42(5):554-558.
CHENG Xiaojun. Characteristics of water breakthrough and optimization of production system of oil wells drilled in Ultra-Deep Fault-Karst reservoirs: (下转第 69 页)

- [19] 卢欢,王清斌,牛成民,等.湖相混积岩系同沉积淋滤作用识别标志与优质储层形成机理:以石臼坨凸起陡坡带Q29和Q36构造沙一、二段为例[J].地球科学,2020,45(10):3721-3730.
- LU Huan, WANG Qinbin, NIU Chengmin, et al. Meteoric leaching evidences, diagenetic model and its geology significance in mixed rock of steep slope zone of Shijiutuo uplift[J].Earth Science, 2020, 45(10):3721-3730.
- [20] 李家康,李俊英.渤海海域沙河街组生物碎屑灰岩发育特点及典型构造分析[J].中国海上油气(地质),1999,13(1):23-27.
- LI Jiakang, LI Junying. Sedimentary characteristics and case study of bioclastic limestone of Shahejie Formation in Bohai area[J].China Offshore Oil and Gas (Geology), 1999, 13(1):23-27.
- [21] 吴磊,徐怀民,季汉成.渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系演化及物源分析[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(1):81-88.
- WU Lei, XU Huaimin, JI Hancheng. Evolution of sedimentary system and analysis of sedimentary source in Paleogene of Bozhong Sag, Bohai Bay Basin[J].Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(1):81-88.
- [22] 薛永安,庞小军,郝轶伟,等.渤海海域秦南凹陷东南缘沙一段混积岩优质储层成因及勘探意义[J].地球科学,2020,45(10):3527-3542.
- XUE Yong'an, PANG Xiaojun, HAO Yiwei, et al. Genesis of high-quality mixed rock reservoir and its exploration significance in Es₁ around southeast margin of Qinnan Sag, Bohai Sea[J].Earth Science, 2020, 45(10):3527-3542.
- [23] 张建民,赵春明,马奎前,等.渤海海域湖相碳酸盐岩储层研究方法——以XX油田深层生屑云岩为例[J].海洋石油,2010,30(4):32-38.
- ZHANG Jianmin, ZHAO Chunming, MA Kuiqian, et al. Research method of lacustrine carbonate rock in the Bohai Sea: Taking bioclastic dolomite in XX Oilfield as an example[J].Offshore Oil, 2010, 30(4):32-38.
- [24] 别旭伟,许赛男,孙藏军,等.利用油田开发资料重新认识生屑云岩展布特征——以沙南凹陷BZ油田为例[J].中国海上油气,2018,30(2):90-96.
- BIE Xuwei, XU Sainan, SUN Cangjun, et al. Re-recognition on the distribution characteristics of bioclastic dolostone based on oilfield development data: A case study of BZ Oilfield in Shanan Sag[J].China Offshore Oil and Gas, 2018, 30(2):90-96.
- [25] 李家强.层拉平技术在沉积前古地貌恢复中的应用——以济阳坳陷东营地区为例[J].胜利油田职工大学学报,2008,22(1):31-32,36.
- LI Jiaqiang. The application of layer flattening technology in the restoration of paleo-geo-morphology before sedimentation: Taking Dongying area of Jiyang depression as an example[J].Journal of Shengli Oilfield Staff University, 2008, 22(1):31-32, 36.

(编辑 卞 炜)

(上接第61页)

- A case study on well Z in Shunbei Oilfield, Tarim Basin[J].Xinjiang Petroleum Geology, 2021, 42(5):554-558.
- [21] 王增林,鲁明晶,张潦源,等.东营凹陷陆相页岩油强化缝网改造生产制度优化研究[J].石油钻探技术,2021,49(4):71-77.
- WANG Zenglin, LU Mingjing, ZHANG Liaoyuan, et al. Production system optimization for enhanced fracture network stimulation in continental shale oil reservoirs in the Dongying Sag[J].Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4):71-77.
- [22] WANG J, LIU H Q, WANG L, et al. Apparent permeability for gas transport in nanopores of organic shale reservoirs including multiple effects[J].International Journal of Coal Geology, 2015, 152:50-62.
- [23] SHENG G L, JAVADPOUR F, SU Y L, et al. A semi-analytic solution for temporal pressure and production rate in a shale reservoir with nonuniform distribution of induced fractures[J].SPE Journal, 2019, 24(4):1856-1883.
- [24] SHENG G L, SU Y L, WANG W D, et al. Application of fractal geometry in evaluation of effective stimulated reservoir volume in shale gas reservoirs[J].Fractals, 2017, 25(4):1740007.

(编辑 卞 炜)