

引用格式:李东海,咎灵,黄文欢,等. 溱潼凹陷西斜坡阜三段隐蔽油藏勘探开发一体化实践[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(3):281-290.
LI Donghai, ZAN Ling, HUANG Wenhuan, et al. Exploration and development integration practice of subtle reservoir of 3rd member of Funing Formation in western slope of Qintong depression[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(3):281-290.
DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2021.03.002

溱潼凹陷西斜坡阜三段隐蔽油藏勘探开发一体化实践

李东海¹, 咎灵¹, 黄文欢^{1,2}, 余文端¹, 马晓东¹, 郑永旺¹, 周韬¹, 印燕铃¹

(1. 中国石化华东油气分公司, 江苏南京 210019; 2. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257000)

摘要:针对溱潼凹陷西斜坡浅层阜三段构造油藏不发育, 深层低渗透油藏效益开发难度大的难点, 采用沉积建模技术和波形反演等技术, 深化成藏规律研究, 评价出浅层阜三段构造—岩性油藏的有利区。自然电位—波形反演技术能清晰刻画5 m左右的砂体。建立溱潼西斜坡阜三段浅湖滩坝沉积—成藏模式, 勘探开发一体化研究、部署和实施, 发现了南华—仓吉千万吨级优质储量阵地, 探井成功率70%。实施“决策部署、地质工程、组织运行一体化”的建产模式, 推进溱潼西斜坡阜三段构造—岩性油藏评价, 落实可动用储量 $1\ 003\times 10^4$ t, 建产能 17.5×10^4 t。原油盈亏平衡点由81美元/桶下降至46美元/桶, 实现了隐蔽油藏的高效勘探开发。

关键词:勘探开发一体化; 隐蔽油藏; 薄砂层; 阜三段; 西斜坡; 溱潼凹陷

中图分类号: TE112

文献标识码: A

Exploration and development integration practice of subtle reservoir of 3rd member of Funing Formation in western slope of Qintong depression

LI Donghai¹, ZAN Ling¹, HUANG Wenhuan^{1,2}, YU Wenduan¹, MA Xiaodong¹, ZHENG Yongwang¹, ZHOU Tao¹, YIN Yanling¹

(1. Sinopec East China Oil and Gas Company, Nanjing, Jiangsu 210019, China;
2. Sinopec Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: Aiming at the problems that the structural reservoir of the 3rd member of Funing Formation in the shallow layer of the western slope of Qintong depression is not developed and the benefit development of the deep low permeability reservoir is difficult, the sedimentary modeling technology and waveform inversion technology are adopted to deepen the study on the accumulation rule and evaluate the favorable area of the structural lithologic oil reservoir of the 3rd member of the shallow Funing Formation. The spontaneous potential-waveform inversion technology can clearly describe the sand body of about five meters. Based on the established sedimentation and reservoir forming mode of shallow lake beach bar in the 3rd member of Funing Formation in the western slope of Qintong, Nanhua-Cangji ten-million-ton high quality reserve position has been found by the integrated research, deployment and implementation of exploration and development, and the exploration well success rate is 70%. The construction and production mode of “decision-making and deployment, geological engineering, organization and operation integration” has been implemented to promote the structure-lithologic reservoir evaluation of the 3rd member of Funing Formation in the western slope of Qintong, and realize the available reserves of $1\ 003\times 10^4$ t and the built the production capacity of 17.5×10^4 t. The break-even point for crude oil has been reduced from \$81/bbl to \$46/bbl, enabling efficient exploration and development of concealed reservoirs.

Key words: exploration and development integration, subtle reservoir, thin sand layer, 3rd member of Funing Formation, west slope, Qintong depression

收稿日期: 2021-03-08。

第一作者简介: 李东海(1961—), 男, 博士, 正高级工程师, 本刊第二届编委会委员, 主要从事油气开发和企业管理。地址: 江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼, 邮政编码: 210000。E-mail: lidh_hdsj@sinopec.com

基金项目: 中国石化科技项目“溱潼凹陷阜三段岩性油藏成藏规律与目标评价”(P19027-4)。

隐蔽油藏是指在现有勘探方法与技术水平条件下较难识别和描述的各种复杂油藏,它包括复杂隐蔽的构造油藏和非构造油藏^[1-6]。随着勘探程度的不断提高,隐蔽油藏在我国石油储量增长中的地位越来越重要。在松辽、渤海湾、鄂尔多斯盆地,隐蔽油藏勘探均取得重要进展,形成了“断坡控砂、复式输导、相势控藏”成藏认识^[6],赵文智等^[7]提出了三面(最大湖泛面、区域不整合面和断面)控藏、五带(有利沉积相带、裂缝发育带、岩性或地层尖灭带、次生孔隙发育带和流体性质变化带)富集的新理论^[8-12]。在东部老区,隐蔽油藏具有地质结构复杂、成藏条件复杂、油藏类型多、识别难度大的特点,但仍然具有较大的勘探开发潜力。

实践证明,勘探开发一体化能加快实施进程,提供优质储量,快速增储上产,缩短建产周期,降低成本,实现油藏高效勘探和效益开发^[13-22]。勘探开发一体化就是将原有勘探与开发相分割的工作模式转变为一体化的工作模式^[23],围绕有利区带,预探、评价、开发井三位一体,按开发井网统一规划,整体部署,一体化运作,边发现、边评价、边开发。以上模式适应了油田对储量的品位、转化率及成本效益的高要

求,满足了油田生产从构造油藏向复杂的隐蔽油藏转移的客观要求。溱潼凹陷位于苏北盆地东南部,主力含油层系为阜三段、戴南组、三垛组,资源探明率45%。针对溱潼凹陷西斜坡浅层阜三段构造油藏不发育,深层低渗透油藏效益开发难度大的难点,通过勘探开发一体化研究、部署和实施,明确由构造油藏转向隐蔽油藏的勘探思路,精细沉积微相、储层预测和成藏规律研究,发现了南华—仓吉千万吨级构造—岩性油藏,实现了高质量勘探、高效开发。

1 地质简况

溱潼凹陷阜三段为三角洲前缘—浅湖滩坝沉积体系,储集岩性主要为粉砂岩、泥质粉砂岩和细砂岩,分选好—中等,储层储集类型为孔隙型,砂岩碎屑成分以石英为主,平均含量为75%,长石次之,平均含量21%,岩屑含量为4%。分选中等,颗粒为次圆—次棱角状,胶结物含量中等,杂基含量少—中等,以泥质为主。西部外斜坡阜三段埋深为1 600~2 200 m,埋藏浅,孔隙度主要为20%~30%,渗透率主要为 $(1\sim 50)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,整体属于中孔、中渗储层。

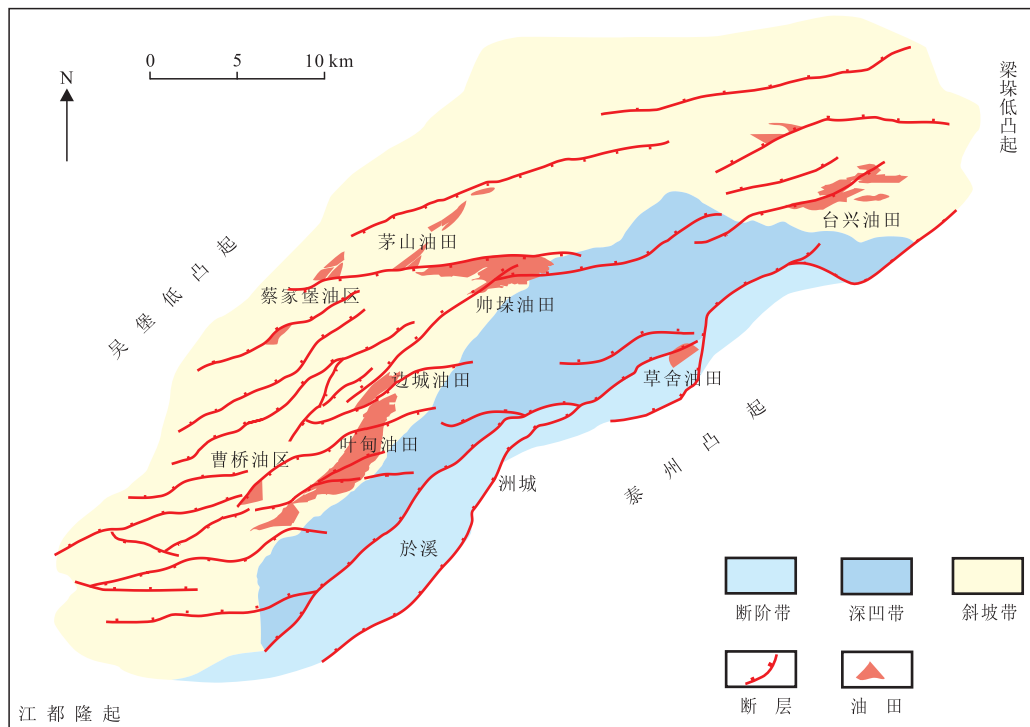


图1 溱潼凹陷阜三段勘探形势(2015年)

Fig. 1 Exploration situation of 3rd member of Funing Formation in Qintong depression (Year 2015)

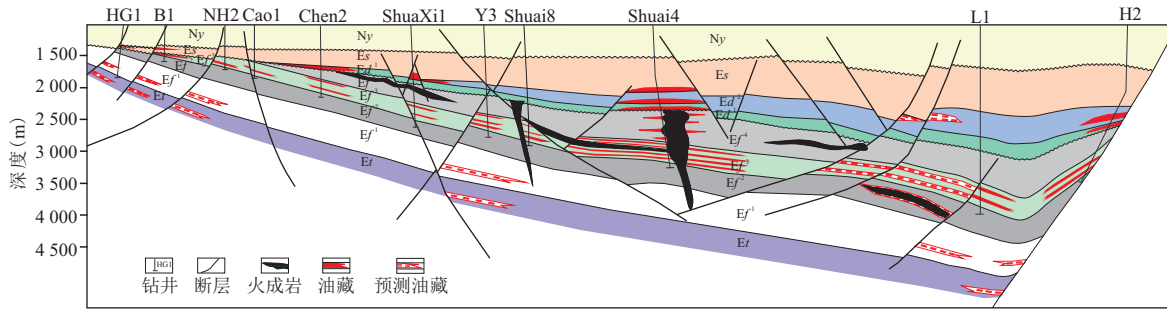


图2 溱潼凹陷油藏剖面

Fig. 2 Profile of reservoirs in Qintong depression

西部内斜坡埋深大于2 500 m,压实作用强,发育低孔、低渗储层。阜三段夹持在阜二段和阜四段两套生油岩之间,具有烃源条件优越、保存条件好的特点,是最有利的勘探层系。油藏分布受二、三级断层、尖灭线和剥蚀线控制,从断阶带到外斜坡油藏逐渐由构造、构造-岩性、地层-岩性变化,呈有序性分布(图1、图2)。

2 面临挑战

2.1 构造油藏发现难度大,勘探方向不明确

1970年至2010年,根据构造高带和砂体联合控油的认知,针对断阶带和东斜坡带开展构造油藏勘探,相继发现了草舍、台兴、祝庄、红庄等油田。2011年至2013年开展溱潼西部内斜坡断块群勘探,发现了俞垛-华庄千万吨级低渗透油藏,随着勘探程度的提高,大型构造圈闭发现难度大,勘探方向不明确。根据陆相湖盆的勘探经验^[6],岩性油藏是重要的勘探方向,但溱潼凹陷阜三段是否具备岩性成藏的条件仍不清楚,成藏的有利区也不明确。圈闭识别是岩性油藏勘探的关键,但阜三段砂体厚度普遍为1~5 m(图3),利用现有的地震资料识别难度大,未

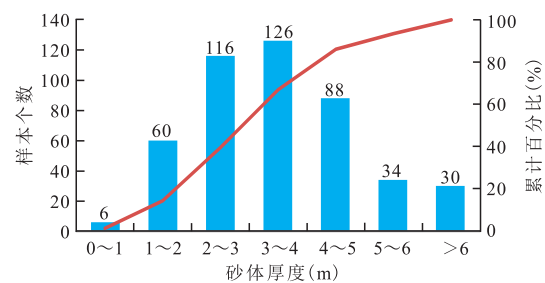


图3 溱潼凹陷阜三段砂体厚度分布

Fig. 3 Sand thickness distribution of the 3rd member of Funing Formation in Qintong depression

形成有效的预测技术。

2.2 保有储量以低渗为主,效益开发难度大

保有储量主要分布在西部内斜坡,埋深普遍大于2 500 m,受压实作用影响,低渗、特低渗储量居多,占总储量的67.5%。储层孔隙度为9.78%~24.87%,平均18.73%;渗透率为(0.11~122.53)×10⁻³ μm²,平均6.10×10⁻³ μm²,普遍小于4×10⁻³ μm²(图4)。由于断块破碎,单个油藏规模小,含油面积小于0.5 km²的油藏占88%。单个油藏储量小于10×10⁴t的占总量的52%。油藏开发的平衡油价都在80美元/桶以上,2014年油价断崖式下跌,保有储量效益开发难度大,

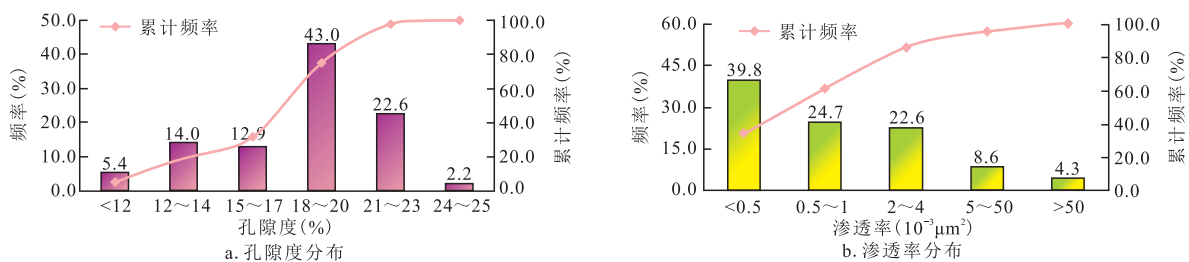


图4 溱潼凹陷内斜坡阜三段储层物性分布

Fig. 4 Reservoir physical property distribution of 3rd member of Funing Formation in inner slope of Qintong depression

亟须寻找浅层优质储量。

3 隐蔽油藏勘探开发一体化实践

3.1 勘探开发一体化研究,发现优质储量阵地

通过精细沉积微相研究、储层预测和成藏分析,勘探思路随之拓宽,明确溱潼凹陷西斜坡是构造—岩性油藏发育的有利区带。勘探目标由构造油藏转为构造—岩性油藏,形成了针对性的勘探评价思路:瞄准区带,立足阜三段,寻找岩性,统一部署,分布实施。

1) 全数字三维地震采集和高保真处理技术

高品质的地震资料是开展隐蔽油藏勘探的重要基础。在全数字三维地震采集的基础上,针对老资料主频低的问题,开展提高目标储层地震资料分辨率的目标处理。在保真、保幅的前提下,采用差异化噪音衰减、一致性处理、CRP(共反射点道集)优化及Q体补偿等针对性的处理技术,提高了地震资料信噪比和分辨率。阜三段主频由20 Hz提高至25 Hz,有效频带宽度由8~55 Hz拓宽至8~65 Hz,改善资料分辨率与成像效果(图5)。地震波组特征更加清晰,为薄砂层识别提供了良好的资料基础。

2) 以沉积建模为基础、自然电位—波形反演为核心的薄层砂岩预测技术

首先从沉积建模入手,充分利用探井和开发井资料,将阜三段3个主力砂组划分为19个小层,对各个小层开展精细微相研究,发现西南斜坡砂体具有滩坝沉积特征^[24]。砂体横向变化较大,多个小层砂体在高部位呈现尖灭特征(图6),进一步明确西南斜坡是寻找岩性圈闭的有利区,在此基础上建立“相控”模型精细描述砂体平面展布特征。

西斜坡阜三段砂体厚度普遍为1~5 m,油层、干

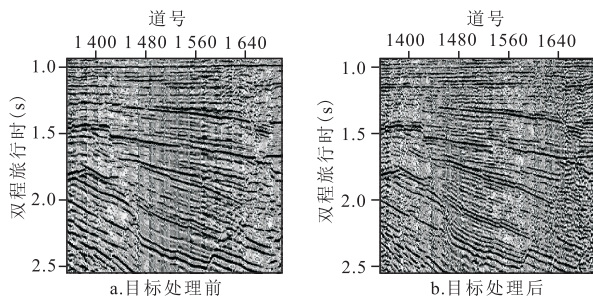


图5 溱潼凹陷地震资料目标处理对比

Fig 5 Comparison of seismic data target processing in Qintong depression

层、泥岩波阻抗叠置严重,波阻抗反演分辨率低,砂体横向变化规律不清楚,地质统计学反演分辨率高,但预测的砂体横向变化随机性太强,不符合地质认识,用常规的反演手段很难解决。以波形反演为手段^[25-28],描述预测砂体,刻画岩性圈闭,自然电位—波形反演技术识别砂体能力由原来的18 m提高至5 m,实钻小层砂体厚度与预测砂体厚度符合率平均达78%(图7)。预测渗透性砂岩的变化趋势,解决了浅埋藏、弱压实的薄层砂岩预测问题^[29]。落实阜三段构造—岩性圈闭11个,面积30.34 km²,资源量2.542×10⁴t。

3) 精细成藏分析技术

通过对曹桥等阜三段油藏解剖,开展断层活动史、沉积和成岩演化史、油气运移和成藏史分析^[30-31],进一步明确了西斜坡油藏富集规律。来自深凹带油气沿北东向反向断层运移,在高部位砂岩尖灭带聚集成藏。构造—岩性油藏北侧由断层控制,高部位由砂体尖灭控制(图8),不同小层油藏的分布受微相控制。根据成藏认识,形成了“沿斜坡、顺断层、追岩性”的勘探思路。2015年针对南华构造—岩性圈闭部署NH2井,该井于阜三段钻遇油层1.2 m,常规试油10.7 t/d。沉积微相分析认为构造低部位砂体更发育,成藏条件更优越,2015年底部署NH201井钻遇油层4套油层,共8 m,常规测试10.9 t/d,由此发现了南华油田(图9)。

3.2 勘探开发一体化部署和实施,提高建产效益

按照“勘探向后延伸、开发向前延伸”的思路,加强勘探开发统筹优化,实现同谋划、同研究、同部署,发挥各自专业特长,加快储量阵地落实和勘探效益的综合提升。

勘探上宏观认识油气分布规律,把握高质量增储的“方向盘”。在构造、沉积和成藏规律系统认识的基础上,明确西斜坡阜三区具有“地貌控相、相控圈闭、断裂控聚、优储控富”的成藏特征,阜三段滩坝岩性油藏分布在西南斜坡古高周缘(图10)。确定了南华、吉沟、陈家舍3个有利构造—岩性油藏潜力带,2015年至2020年在西斜坡由南往北逐步滚动,钻探岩性圈闭10个,成功7个,钻探成功率70%。

开发上开展老井复查,盘活寻找优质储量的“导航仪”。在产建过程中应用开发井兼评、兼探,大幅节约了滚动勘探、油藏评价的投资。以吉沟地区为例,在概念井网中优选J2井、CX2井两口探井,兼

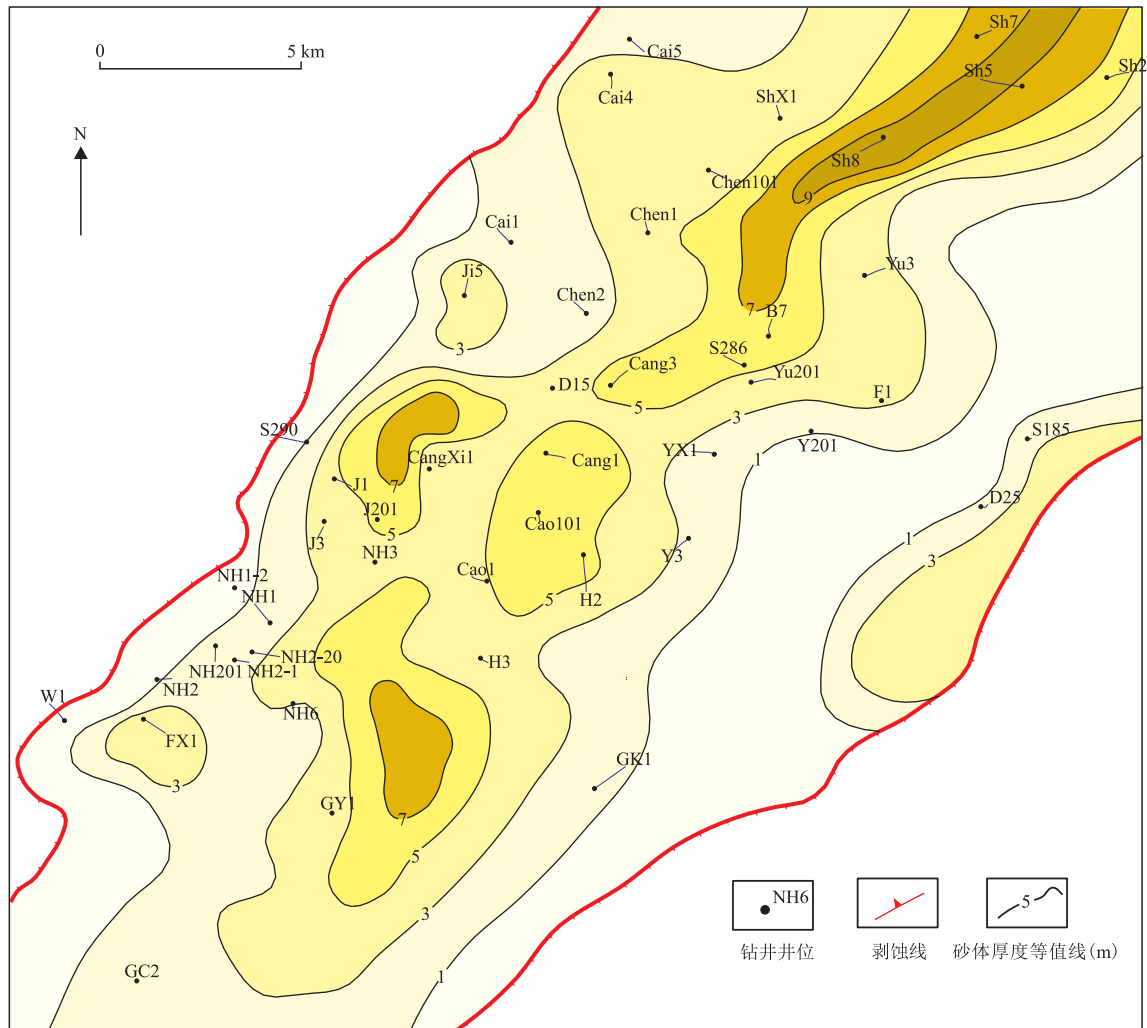


图6 溱潼凹陷西斜坡阜三段Ⅲ砂组4小层砂体厚度

Fig. 6 Sand body thickness of No. 4 small layer in sand group III of 3rd Funing Formation in western slope of Qintong depression

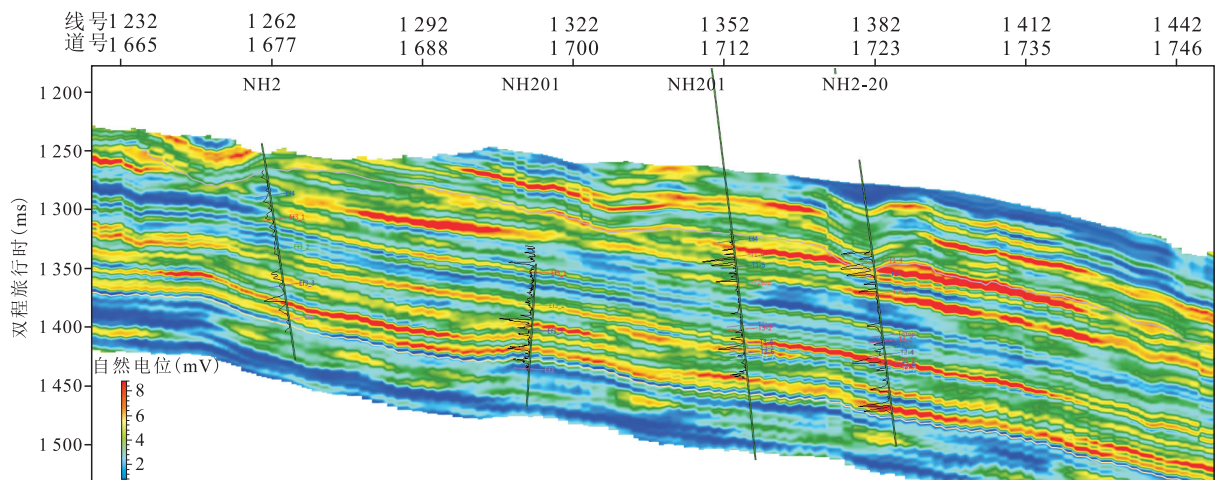


图7 溱潼凹陷阜三段自然电位—波形反演剖面

Fig. 7 Inversion profile of spontaneous potential waveform in 3rd member of Funing Formation of Qintong depression

顾注采井网要求,向南部跨块部署滚动勘探井吉201井,获得成功。仓吉地区阜三段落实用地质储量 $273 \times 10^4 \text{ t}$,新建产能 $3.53 \times 10^4 \text{ t}$,开发成本10.45美元/桶,产能达标率103%。一体化实施提高了运行效率,快速落实油藏储量、产能规模。

探井、滚动勘探井和开发井完成后,对各类图件进行修编,实现“一井一图、一层一图”,为井位部署提供详实的资料。采用“一井多靶、一台多井”的方式,在产建井位部署中充分考虑滚动、评价目标风险,整体部署概念设计,抽稀进行油藏评价,优化设计钻井平台。通过勘探开发一体化研究、部署和实施,提高了油田滚动勘探效率,“十三五”期间滚动勘探井、油藏评价井钻探成功率提高至95%,同时节约

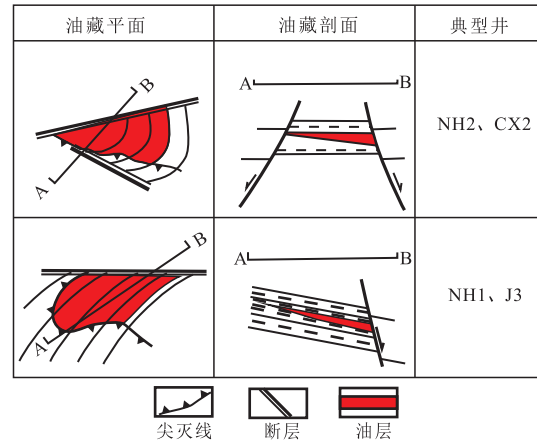


图8 溱潼凹陷阜三段构造—岩性油藏平面剖面
Fig. 8 Structural lithologic reservoir plan and section of 3rd member of Funing Formation of Qintong depression

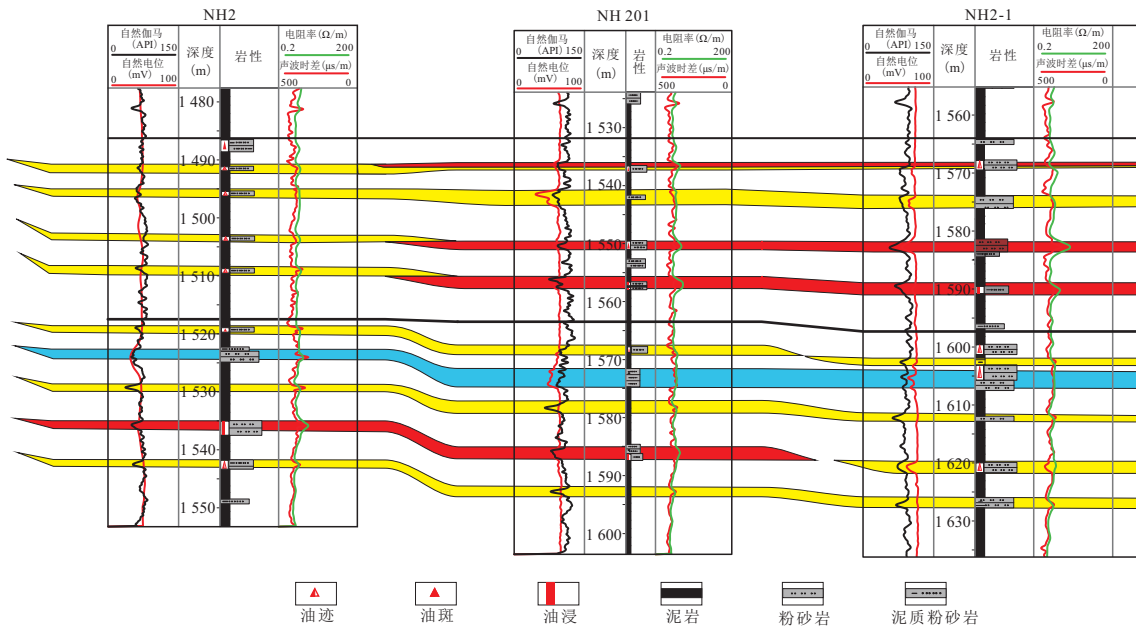


图9 溱潼凹陷NH2、NH201和NH2-1阜三段油层对比
Fig. 9 Oil layer comparison of Well-NH2, Well-NH201 and Well-NH2-1 in 3rd member of Funing Formation in Qintong depression

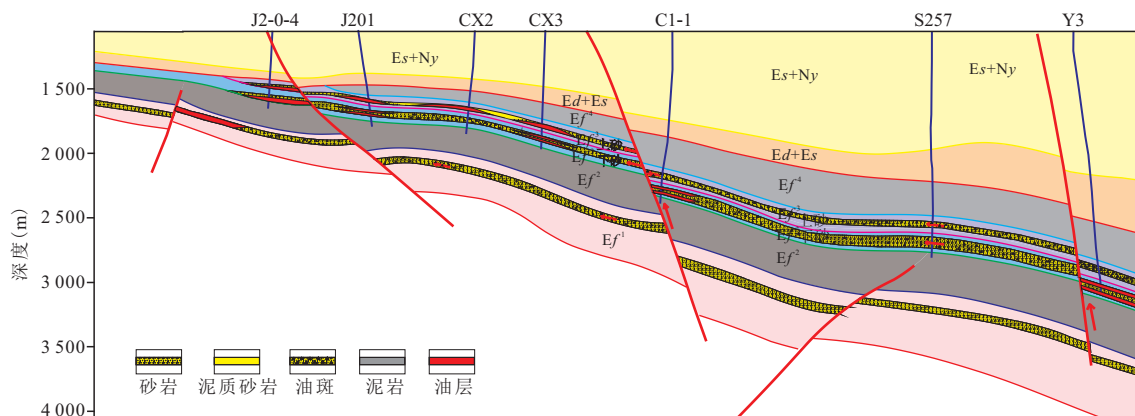


图10 溱潼凹陷西斜坡阜三段成藏模式
Fig. 10 Hydrocarbon accumulation mode of 3rd member of Funing Formation in western slope of Qintong depression

钻井进尺 2.12×10^4 m, 节约钻井及地面投资共 8 000 万元。

3.3 地质工程设计一体化,提升建产质量

1) 地质油藏一体化,优化部署提水平,建立薄层油藏精细开发模式

针对储层变化快、非均质性严重等特征,结合油藏特点,建立了矢量注采、分区建流场和立体注采等开发模式,推进了西斜坡构造—岩性油藏的高质量建产。

利用建模数模一体化技术完成南华油田 30 套开发方案设计、比选(表 1);井排方向沿着物源方向设计,在储层主渗流方向加大井距(300~350 m),构建矢量流场,形成均衡驱替。

2) 油藏工艺一体化,高效动用提质量

由于阜三段埋藏浅、成岩弱,防砂也是后期高效开采的关键。计算出砂临界生产压差为 7.3 MPa,通过优化生产压差与防砂工艺相结合,提高油井稳产能力。加强动态监测的力度,开展超前堵水,延长低含水期生产时间,NH2-16 井组通过化学堵调,含水上升得到有效控制,井组日增油 2.2 t。

3) 工程工艺一体化,集约建设提效益

油藏设计方面,新井与老井扶停或老井侧钻相结合完善井网。钻井工程设计方面,通过优化井身结构、工具组合和测录井系列实现技术降本。采油

工程设计方面,通过优化完井方式、举升方式提产提效。地面工程设计方面,通过采用平台井,尽量利用老井或报废井井台、旧抽油机修复利用。开发成本从 16.0 美元/桶降低到 11.6 美元/桶,严格执行方案设计,一直保持了较好的开发态势。

3.4 项目管理组织运行一体化,提高建产效率

1) 实施运行优化。井位提前部署,井口提前踏勘,优质优先,先评后建。实施过程中,提前完成地质设计,根据完钻井钻探情况,及时反馈修改设计。

2) 优化运行与技术改进,实现产建工作提质增效。采用大平台双排井设计,双钻机运行提效 50%。“井工厂”流水作业模式,单井投产周期缩短 47%(图 11)。

3) 推进“四提五化”建设,地质工程一体化降本增效。组建地质、工程、地面、生产及材料保供等专业团队,取得了缩短工期、提高效率、减少用地、降低投资等效果,实现产建管理提效。

“十三五”期间,通过勘探开发一体化研究,形成了主控断层和滩坝砂复合控油等一系列地质新认识,形成了沉积建模、储层预测为核心的岩性目标识别技术,发现了南华—仓吉优质储量阵地(图 12)。实施“决策部署、地质工程、组织运行一体化”的建产模式,落实阜三段可动用储量 $1\ 003 \times 10^4$ t,建产能 17.5×10^4 t。2015 年至 2020 年原油产量从 33×10^4 t 上

表 1 南华油田开发方案设计
Table 1 Development scheme of Nanhua Oilfield

优化目标	方案设计	优化目标	方案设计
开发层系组合	方案 1: III 4、III 6 分层系开发	单井产能	方案 1: 4 t/d
	方案 2: 一套层系—合注合采开发		方案 2: 5 t/d
	方案 3: 一套层系—分注合采开发		方案 3: 6 t/d
注采井型井网	方案 1: 反九点井网一直井		方案 4: 7 t/d
	方案 2: 反七点井网一直井		方案 5: 8 t/d
	方案 3: 五点井网一直井	注水时机	方案 1: 同期注水
	方案 4: 直井排状井网		方案 2: 弹性开发至 90 % p_i 时注水
方案 5: 水平井排状井网	方案 3: 弹性开发至 80 % p_i 时注水		
方案 6: 水平井采直井注排状井网	方案 4: 弹性开发至 70 % p_i 时注水		
注采井距	方案 1: 250 m	方案 5: 衰竭开发	注采比
	方案 2: 300 m	方案 1: 0.8	
	方案 3: 350 m	方案 2: 0.9	
	方案 4: 450 m	方案 3: 1.0	
	方案 5: 550 m	方案 4: 1.1	
			方案 5: 1.2

注: p_i 为原始地层压力。

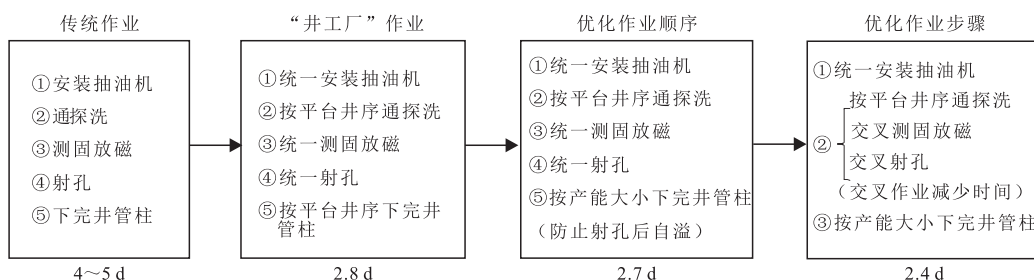


图11 溱潼凹陷西斜坡优化作业对比

Fig. 11 Comparison of optimized operation in western slope of Qintong depression

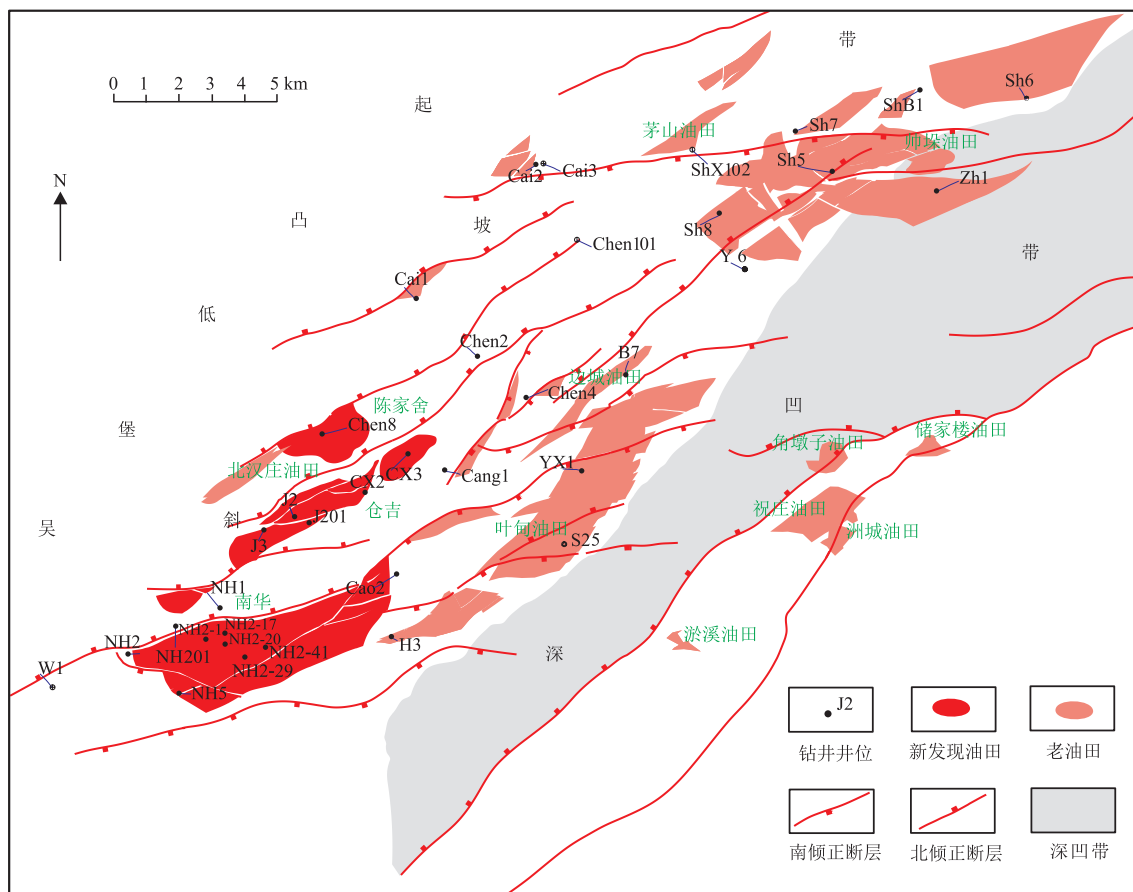


图12 溱潼凹陷西斜坡阜三段勘探成果

Fig. 12 Exploration results of 3rd member of Funing Formation in western slope of Qintong depression

升至 46×10^4 t, 年增长率保持在10%以上。盈亏平衡点由81美元/桶下降至46美元/桶, 实现了隐蔽油藏的高效勘探开发。

4 结论

1) 针对性地震资料采集、处理和储层预测是识别隐蔽圈闭的基础, 自然电位—波形反演技术能清晰刻画5 m左右的砂体, 实钻小层砂体厚度与预测砂

体厚度符合率平均达78%。

2) 勘探开发一体化研究是发现隐蔽油藏的关键, 建立阜三段浅湖滩坝沉积—成藏模式, 明确西斜坡阜三段具有“地貌控相、相控圈闭、断裂控聚、优储控富”成藏特征, 发现了南华—仓吉优储阵地。

3) “决策部署、地质工程、组织运行一体化”的建产模式是实现隐蔽油藏高效开发的核心, 落实阜三段可动用储量 $1\ 003 \times 10^4$ t, 建产能 17.5×10^4 t, 原油盈亏平衡点由81美元/桶下降至46美元/桶。

参考文献

- [1] Carl J F. The geology of the oil regions of Warren, Venango, and Butler counties[C]// Anon. The 2nd Pennsylvania Geol. Survey. Vol.3.[S.l.]:[s.n.], 1880:482.
- [2] 贾承造,池英柳. 中国岩性地层油气藏资源潜力与勘探技术[M]. 北京:石油工业出版社,2004:15-25.
JIA Chengzao, CHI Yingliu. Resource potential and exploration techniques of stratigraphic and subtle reservoirs in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 15-25.
- [3] 贾承造,邹才能,杨智,等. 陆相油气地质理论在中国中西部盆地的重大进展[J]. 石油勘探与开发,2018,45(4):546-560.
JIA Chengzao, ZOU Caineng, YANG Zhi, et al. Significant progress of continental petroleum geology theory in basins of Central and Western China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(4): 546-560.
- [4] 沈守文,彭大钧,颜其彬,等. 试论隐蔽油气藏的分类及勘探思路[J]. 石油学报,2000,21(1):16-21.
SHEN Shouwen, PENG Dajun, YAN Qibin, et al. Classification and exploration methods of subtle trap reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(1): 16-21.
- [5] 杨帆,张峰. 蠡县斜坡隐蔽油藏类型及勘探思路[J]. 海洋石油,2009,29(4):33-37.
YANG Fan, ZHANG Feng. Type of subtle reservoirs and exploration thought in Lixian Slope[J]. Offshore Oil, 2009, 29(4):33-37.
- [6] 李丕龙,庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成[M]. 北京:石油工业出版社,2004:1-4.
LI Peilong, PANG Xiongqi. Forming of subtle reservoirs in lacustrine depression: taking Jiyang depression[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 1-4.
- [7] 赵文智,方杰. 不同类型断陷湖盆岩性—地层油气藏油气富集规律——以冀中坳陷和二连盆地岩性—地层油气藏对比为例[J]. 石油勘探与开发,2007,34(2):129-134.
ZHAO Wenzhi, FANG Jie. Petroleum enrichment rules in lithologic and stratigraphic pools in different faulted basins: An example from the correlation of lithologic and stratigraphic pools in Jizhong Depression and in Erlian Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2): 129-134.
- [8] 王志宏,李建明. 饶阳凹陷异常高压与油气成藏关系[J]. 岩性油气藏,2014,26(6):15-19.
WANG Zhihong, LI Jianming. Abnormal high pressure and its relation to hydrocarbon accumulation in Raoyang Sag[J]. Lithologic Reservoirs, 2014, 26(6): 15-19.
- [9] 庞雄奇,李丕龙,金之钧,等. 油气成藏门限研究及其在济阳坳陷中的应用[J]. 石油与天然气地质,2003,23(2):204-209.
PANG Xiongqi, LI Peilong, JIN Zhijun. Hydrocarbon accumulation threshold and its application in Jiyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 23(2): 204-209.
- [10] MOUSLOPOULOU V, NICOL A, LITTLE T A, et al. Displacement transfer between intersecting regional strike-slip and extensional fault systems[J]. Journal of Structural Geology, 2006, 29(1): 100-116.
- [11] 沈正春,张云银,魏红梅,等. 东营凹陷沙三中亚段超隐蔽油藏岩储层描述方法及应用[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(18):7167-7175.
SHEN Zhengchun, ZHANG Yunyin, WEI Hongmei, et al. Description methods and application of high subtle turbidite reservoir of E_{3s3}² in Dongying Depression[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(18): 7167-7175.
- [12] 刘金水,陆永潮,秦兰芝. 源汇系统分析方法在大型储集体研究中的应用以西湖凹陷中央反转带花港组为例[J]. 石油实验地质,2019,41(3):303-310.
LIU Jinshui, LU Yongchao, QIN Lanzhi. Application of source to sink system analysis in large reservoir research: a case study of Huagang Formation, Central Inversion Belt, Xihu Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(3): 303-310.
- [13] 程垒明. 吉木萨尔凹陷页岩油水平井地质工程一体化三维压裂设计探索[J]. 石油地质与工程,2021,35(2):88-92.
CHENG Leiming. Exploration of geological engineering integrated 3D fracturing design for horizontal wells in Jimsar shale oil reservoirs[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2021, 35(2):88-92.
- [14] 吴宝成,李建民,邬元月,等. 准噶尔盆地吉木萨尔凹陷芦草沟组页岩油上“甜点”地质工程一体化开发实践[J]. 中国石油勘探,2019,24(5):679-690.
WU Baocheng, LI Jianmin, WU Yuanyue, et al. Development practices of geology-engineering integration on upper sweet spots of Lucaogou Formation shale oil in Jimsar sag, Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(5): 679-690.
- [15] WARPINSKI N R, MAYERHOFER M J, VINCENT M C, et al. Stimulating unconventional reservoirs: maximizing network growth while optimizing fracture conductivity[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2009, 48(10): 39-51.
- [16] GAKHAR K, RODIONOV Y, DEFEU C, et al. Engineering and effective completion and stimulated strategy for in-fill wells [C]// Paper SPE-184835-MS presented at the SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference and Exhibition, January 24-26, 2017.
- [17] EDOUARD C C, OLGA K, XIAOWEI W. Stacked height model to improve fracture height growth prediction, and simulate interactions with multi-layer DFNs and ledges at weak zone interfaces[C]// Paper SPE- 184876- MS presented at the SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference and Exhibition, January 24-26, 2017.
- [18] 徐兴安,张凤辉,杨万有,等. 注水井高效测调一体化技术研究与应用[J]. 石油机械,2020,48(8):43-47.
XU Xing'an, ZHANG Fenghui, YANG Wanyou, et al. Integrated High Efficient Testing and Adjustment Technology for Water Injection Wells[J]. China Petroleum Machinery, 2020, 48(8): 43-47.
- [19] 党海龙,姜汉桥,王小锋,等. 延长组长6低渗油藏高温高压条件下裂缝对渗吸效率的影响[J]. 石油与天然气化工, 2020,49(2):87-92.
DANG Hailong, JIANG Hanqiao, WANG Xiaofeng, et al. Influence of crack on imbibition efficiency of low permeability reservoir in Yanchang Chang 6 formation under high temperature and high pressure condition[J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2020, 49(2): 87-92.

- [20] 彭太祥,石建设. 一体化长效分注管柱研究与应用[J]. 石油机械, 2019, 47(8): 107-111.
PENG Taixiang, SHI Jianshe. Research of Integrated Long-Term Separate Layer Injection String[J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(8): 107-111.
- [21] 李然,李呈祥,沈长渠,等. 油水井管杆一体化带压作业机的研发与应用[J]. 石油机械, 2019, 47(12): 94-99.
LI Ran, LI Chengxiang, SHEN Changqu, et al. Development and application of oil and water well tubing-rod integrated snubbing operation device[J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(12): 94-99.
- [22] 苏良银,常笃,齐银,等. 超低渗油藏老井体积压裂技术研究与应用[J]. 钻采工艺, 2020, 43(2): 75-77.
SU Liangyin, CHANG Du, QI Yin, et al. Research and application of SRV fracturing technology for old wells in ultralow permeability reservoir[J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(2): 75-77.
- [23] 李阳,王大锐,张正卿,等. 油藏评价一体化研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2003.
LI Yang, WANG Darui, ZHANG Zhengqing, et al. Integrated reservoir studies[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- [24] 卞梅. 溱潼凹陷西南斜坡阜三段滩坝沉积特征及模式[J]. 非常规油气, 2018, 5(3): 25-30.
BIAN Mei. The beach bar sedimentary characteristics and models of the third member of Funing Formation in the Southwest Slope of Qintong Sag[J]. Unconventional Oil & Gas, 2018, 5(3): 25-30.
- [25] CHOPRA S, CASTAGNA J, PORTNIAGUINE O. Seismic resolution and thin-bed reflectivity inversion[J]. CSEG Recorder, 2006, 11(2): 19-25.
- [26] 胡光辉,杜泽源,何兵红,等. 近地表复杂区早至波全波形反演建模技术与应用[J]. 石油物探, 2019, 58(6): 811-818.
HU Guanghui, DU Zeyuan, HE Binghong, et al. Full waveform inversion based on early arrival waves and its application in complex near-surface area[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(6): 811-818.
- [27] 何兵红,方伍宝,刘定进,等. 基于波动方程转换的时间域多尺度全波形反演速度建模[J]. 石油物探, 2019, 58(2): 229-236.
HE Binghong, FANG Wubao, LIU Dingjin, et al. Velocity building by multi-scale full waveform inversion with time-domain wave equation transform[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2019, 58(2): 229-236.
- [28] 张蕾,王军,张中巧,等. 基于地震物理模拟的三角洲砂体识别及刻画技术[J]. 石油地质与工程, 2019, 33(1): 30-33.
ZHANG Lei, WANG Jun, ZHANG Zhongqiao, et al. Identification and characterization of delta sand bodies based on seismic physical simulation[J]. Petroleum Geology & Engineering, 2019, 33(1): 30-33.
- [29] 周超宇. 地质统计学地震反演技术在溱潼南华地区薄砂层的预测应用[J]. 非常规油气, 2018, 5(4): 23-26.
ZHOU Chaoyu. Application of the geostatistical seismic inversion in thin sand in Nanhua Area, Qintong Sag[J]. Unconventional Oil & Gas, 2018, 5(4): 23-26.
- [30] 昝灵,骆卫峰,马晓东. 苏北盆地溱潼凹陷阜二段烃源岩生烃潜力及形成环境[J]. 非常规油气, 2016, 3(3): 1-8.
ZAN Ling, LUO Weifeng, MA Xiaodong. Hydrocarbon generation potential and genetic environments of second member of Funing Formation in Qintong Sag, Subei Basin[J]. Unconventional Oil & Gas, 2016, 3(3): 1-9.
- [31] 刘玉瑞. 苏北后生—同生断陷盆地油气成藏规律研究[J]. 石油实验地质, 2016, 38(6): 721-730.
LIU Yurui. Petroleum accumulation rules in hystero-genetic reconstructive-syngenetic rift basins, North Jiangsu Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 721-730.

(编辑 常燕)