

引用格式: 翟亮, 刘丽, 胡晨彬, 等. 胜利滩浅海油田高效开发技术进展及展望[J]. 油气地质与采收率, 2024, 31(5): 66-76.
ZHAI Liang, LIU Li, HU Chenbin, et al. Progress and prospect of high-efficient development technologies for Shengli beach-shallow sea oilfields[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2024, 31(5): 66-76.

胜利滩浅海油田高效开发技术进展及展望

翟亮, 刘丽, 胡晨彬, 张海娜, 唐晓红

(中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 胜利滩浅海油田位于海陆交汇处, 以埕岛油田、新北油田为典型代表, 具有油藏类型多样、地面条件复杂、海工配套投资大的特点, 效益开发难。立足胜利滩浅海油田开发实践, 重点梳理了“十一五”以来技术成果, 经过持续技术攻关, 形成了以滩浅海油田细分加密综合调整、滩浅海油田整体注采调控、海油陆采高效开发、滩浅海边际油藏有效动用、复杂裂缝性潜山油藏开发为核心的胜利特色滩浅海油田高效开发技术, 建成国内首个400万吨级滩浅海油田——埕岛油田, 实现了从陆上到海上的跨越。通过剖析滩浅海油田目前高质量发展面临的问题, 明确了在新区效益建产与老区提高采收率技术支撑上面临的挑战。作为胜利油田持续上产的重要阵地, 针对未来滩浅海油田面临的上产需求与未动用储量品位低以及老区稳产基础与液量受限两大挑战, 提出了滩浅海油田“少井高产、高速高效”的发展方向, 即持续攻关滩浅海复式油气藏效益动用、基于平台集约化的“3+2”开发方式下的二次井网重构、基于大模型的智能注采调控等关键技术, 支撑胜利滩浅海油田高质量持续发展。

关键词: 滩浅海油田; 高效开发; 埕岛油田; 整体注采调控; 边际油田; 裂缝性潜山油藏

文章编号: 1009-9603(2024)05-0066-11

DOI: 10.13673/j.pgre.202405016

中图分类号: TE349

文献标识码: A

Progress and prospect of high-efficient development technologies for Shengli beach-shallow sea oilfields

ZHAI Liang, LIU Li, HU Chenbin, ZHANG Haina, TANG Xiaohong

(Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company,
SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: Shengli beach-shallow sea oilfields are located at the junction of sea and land, with Chengdao Oilfield and Xinbei Oilfield as representatives. They have the characteristics of diverse reservoir types, complex ground conditions, and significant investments in ocean engineering facilities, so it is difficult to develop beneficially. Based on the development practice of the Shengli beach-shallow sea oilfield, this paper focused on the technical achievements since the “11th Five-Year Plan.” The efficient development technologies for characteristic Shengli beach-shallow sea oilfields were formed through continuous technical research, with the cores of subdivision and comprehensive adjustment of beach-shallow sea oilfields, overall injection and production regulation of beach-shallow sea oilfields, efficient development of offshore oil production, effective utilization of beach-shallow sea marginal oilfield, and development of complex fractured buried hill oil reservoir. The first beach-shallow sea oilfield of four million tons, Chengdao Oilfield, was built in China, realizing the crossing from land to sea. The challenges in the efficient production construction in the new area and the technical support of enhanced oil recovery in the mature area were clarified by analyzing the problems facing the high-quality development of the beach-shallow sea oilfield. By considering the important position for the continuous production of Shengli Oilfield, the development direction of “fewer wells, high yield, high speed, and high efficiency” was proposed to alleviate the contradiction between the production demand and low grade of unproduced reserves, as well as the stable production foundation and restrictive liquid production in the mature area faced by the beach-shallow sea oilfield in the future. In other words,

收稿日期: 2024-05-09。

作者简介: 翟亮(1978—), 男, 山东昌邑人, 高级工程师, 博士, 从事油田开发研究工作。E-mail: zhailiang.slyt@sinopec.com。

it is necessary to continue to study critical technologies, such as the beneficial utilization of multiple oil and gas reservoirs in beach-shallow sea, the reconstruction of secondary well pattern under the “3 + 2” development mode based on platform intensification, and the intelligent injection and production control based on a big model, to support the high-quality and sustainable development of Shengli beach-shallow sea oilfield.

Key words: beach-shallow sea oilfield; efficient development; Chengdao Oilfield; overall injection and production regulation; marginal oilfield; fractured buried hill oil reservoir

胜利滩浅海油田勘探始于20世纪60年代,相继发现了埕岛油田、老河口油田、新滩油田、新北油田、桥东油田等5个油田,地质储量近 7×10^8 t。从20世纪90年代投入开发至今,经历了4个主要开发阶段:1993—1995年为试采阶段,该阶段优先动用了天然能量充足、原油性质好、自喷能力强、单井产能高且距岸较近的东营组和中生界油藏,阶段末年年产油量突破 50×10^4 t;1996—1999年,随着主力含油层系馆陶组油藏的先导试验和全面开发,油田进入快速上产阶段,1996年建成全国第1个年产油百万吨级滩浅海油田——埕岛油田,阶段末年年产油量突破 200×10^4 t;2000—2005年随着馆陶组陆续转入注水

开发和中深层的投产,油田保持了高速稳产,该阶段埕岛油田年产油量始终保持在 200×10^4 t以上;2006年后随着馆陶组油藏的细分加密综合调整与精细注采优化,以及外围低品位油藏逐步建产,油田进入二次上产阶段,2014年年产油量突破 300×10^4 t台阶并持续保持上产势头,实现了原油产量三次跨越,是胜利油田“九五”以来最大的产量增长点(图1)。在胜利滩浅海油田30 a开发历程中,针对不同阶段开发对象及面临的矛盾,经过多年探索实践,依靠自主创新、一体化发展,配套形成了具有胜利滩浅海油田特色的开发技术体系,走出一条具有胜利特色的滩浅海油田开发建设之路。

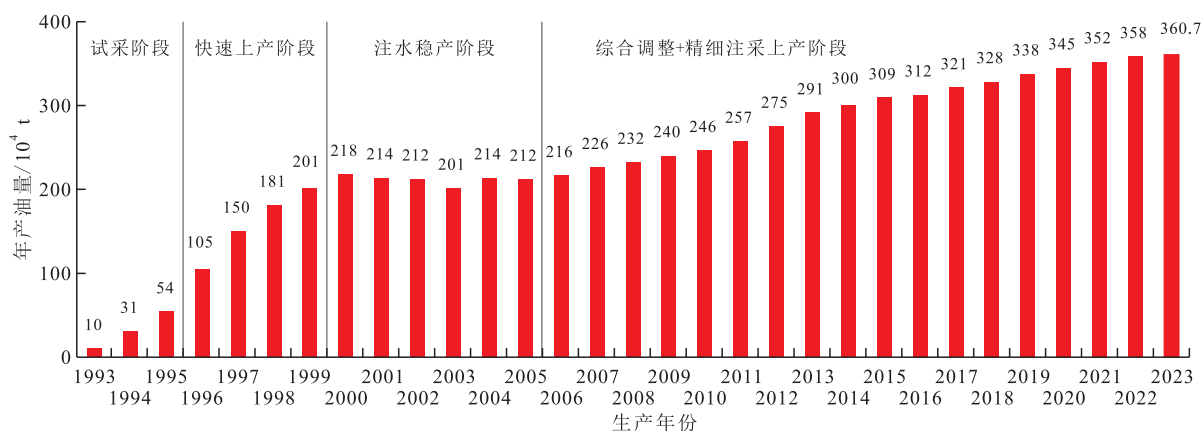


图1 埕岛油田开发历程

Fig.1 Development history of Chengdao Oilfield

笔者系统阐述了“十一五”以来胜利滩浅海油田高效开发技术进展,并分析了目前滩浅海油田高质量发展转型期所面临的严峻挑战,提出了“十四五”及未来一段时期内实现持续效益上产的发展方向,对于推动胜利滩浅海油田持续高效开发具有重要借鉴意义。

1 油田概况

胜利滩浅海油田属于渤海海域油田群,构造位置位于济阳坳陷与渤中凹陷交会处的埕北低凸起东南部(图2),地理位置位于渤海湾南部黄河入海口地区极浅海滩涂地带,水深为2~18 m。受强风浪、黄河入海、潮汐变化等多种因素影响,该类油田

的开发具有特殊性^[1-3]。

主力油田埕岛油田为典型陆相复式油气藏,纵向上发育披覆背斜、断鼻断块、岩性、地层超覆、潜山等多种油藏类型,地质结构相对复杂,为滩浅海边际油田^[4-6]。埕岛油田主力含油层系馆上段属于河流相沉积,具有储层埋藏浅、相变快、砂体叠置的特点。外围低品位油田主要包括新北、新滩、老河口及桥东油田,其地质特点各不相同,但面临共同的开发难点,即储层多为薄互层、储量丰度低、单井产能低,同时近岸滩海地区建产周期长、地面投资大,开发风险大。

胜利滩浅海油田年产油量为300多万吨,采油速度为1.0%,综合含水率为85.1%,采出程度为20.3%,全面进入了高含水开发阶段。流体性质较

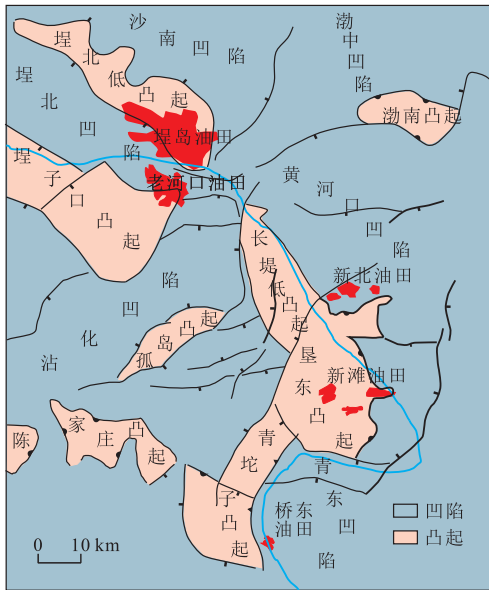


图2 胜利滩浅海油田分布

Fig.2 Distribution of Shengli beach-shallow sea oilfields

差,地层原油密度为 $0.879 \sim 0.904 \text{ g/cm}^3$,地层原油黏度一般为 $26.8 \sim 70.2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,属于普通稠油;天然能量不足,地饱压差小,一般为 $0.5 \sim 6.31 \text{ MPa}$,平均仅为 3.4 MPa ^[7-10]。

2 高效开发技术进展

“十一五”以来,针对埕岛油田馆陶组油藏中高含水期采油速度低、滩浅海边际油田与复杂裂缝性潜山油藏效益动用难等问题,经过持续攻关研究,形成了胜利特色滩浅海油田高效开发技术系列,包括层系细分加密、整体注采调控、海油陆采、复杂裂缝性潜山油藏开发等,为胜利滩浅海油田高效开发提供了强有力的技术支持。

2.1 埕岛油田细分加密综合调整技术

埕岛油田馆上段油藏开发初期采用一套层系不规则井网开发,随着开发阶段深入,油藏开发矛盾逐渐凸显,预测平台有效期内采出程度仅为18%,亟需提速开发。按照“整体规划、优选先导、分区部署、逐年实施”的思路,开展了少井条件下河流相储层精细表征、建模数模一体化及整体井网调整技术攻关,制定分区调整技术政策,优化新井实施顺序,充分释放油藏潜力,大幅提高采油速度及采收率。

2.1.1 少井条件下河流相储层精细表征技术

埕岛油田馆上段属于河流相砂岩油藏,纵向上层多、厚度薄,平面上多期砂体侧向切叠,相变快,井间连通关系复杂。相对于陆上油田的密井网,滩

浅海油田井少,增加了储层描述的难度。针对上述问题,以现代沉积规律为指导,结合露头、岩心和测井资料,建立了埕岛油田河道边界模式,应用波动方程正演、分频属性反演,建立了河道边界地震相模板^[11];应用小波分频技术,研究频率和调谐厚度关系,重构地震数据体^[12];针对地震单一同相轴与多期河道对应的特点,应用RGB融合单一同相轴不同部位属性切片刻画河道的边界(图3)。创新形成了两级嵌套多变程地震反演技术,即首先基于相控建立初始模型,开展稀疏脉冲反演,确定第一级岩性的空间规模;在此基础上开展地质统计学反演,精细刻画大井距条件下砂体厚度。综合考虑影响井间砂体连通性的动、静态因素,确定关键参数,应用主成分分析法确定关键参数权重,实现了大井距条件下井间砂体连通程度的定量评价。

实钻井统计结果表明,钻井单层厚度吻合率达92%,河道识别宽度精度达到150 m,纵向砂体最小识别厚度为3 m。平面上井对之间砂体连通程度的定量刻画,为剩余油分布研究与开发政策调整提供了地质依据。

2.1.2 油田级别整体建模数模一体化技术

埕岛油田建产初期,采用分区块建产、分区块建模的方式实现了效益开发,但是分区的地质模型无法反映油藏整体性,同时新老平台交互、井位交叉部署需要整体模拟剩余油的演化,滩浅海油田油藏、工艺、海工需统筹考虑,综合滩浅海油田开发的特点决定了必须开展整体的建模数模研究,以指导

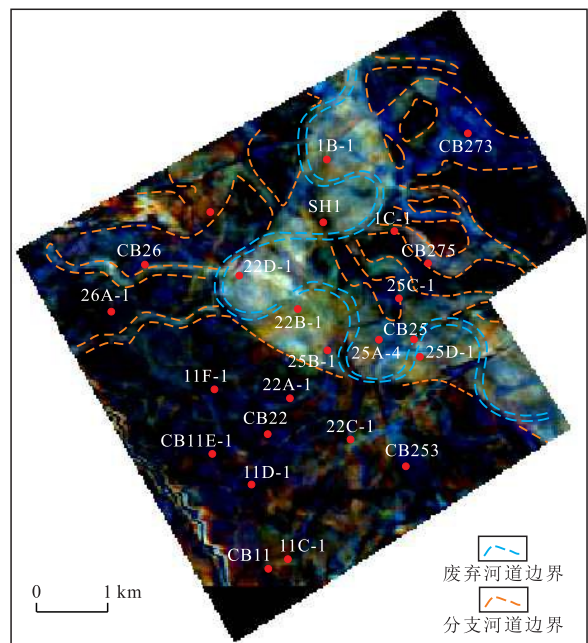


图3 埕岛油田Ng₄²₁层RGB属性融合结果

Fig.3 Fusion result of RGB attribute in Ng₄²₁ of Chengdao Oilfield

油田开发系统规划和科学决策。

根据精细储层描述结果,针对油田级别整体建模数模面临的网格划分、相渗分区模拟效率等难点,开展了整体建模数模一体化技术攻关。通过超大规模网格划分、大斜度井空间归位、多方向变差函数分析、相控储层建模及分区带饱和度建模等方法^[13-16],解决了研究区因河流相沉积砂体摆动频繁、变差函数拟合难、油水过渡带饱和度建准难等问题,建立了埕岛油田主体馆上段的整体大模型(图4),建模网格达到1 800万节点,面积为96 km²,覆盖储量超亿吨,精细刻画了储层在三维空间的展布特点,体现了储层空间非均质性的变化特征。在精细地质模型的基础上,通过建立岩石渗流特征模型,分区描述渗流关键参数,优化影响并行运算关键参数,进而大幅提升模拟速度。通过一体化历史拟合,消除了分区模拟边界影响,单井拟合率达到90%以上,落实了剩余油分布,开展整体开发指标预测,为整体开发调整及实施统筹布局奠定了基础。

2.1.3 基于河流相砂体整体井网调整技术

针对埕岛油田馆陶组油藏中高含水期层间干扰严重,产液量低、采油速度低、预测采收率低等问题,类比相似油藏,综合油藏工程、数值模拟和经济评价等技术方法,形成了滩浅海油田的层系细分井网加密调整技术。通过开展层系细分影响因素评价,确定渗透率、含油饱和度、原油黏度、地层压力为敏感性因素,建立层系组合界限、优化经济界限参数(图5),开展聚类分析,设计不同细分层系方案开展优化,实现了层系重组细分。同时分别对主力砂体、非主力砂体进行井网适应性分析和井网关键参数优化(图6),建立了适合胜利滩浅海油田的层系细分井网加密调整技术^[17-20],有效解决了层间干扰等问题,大幅提高了储量的动用率。此外,综合考虑滩浅海施工能力,以油藏为基础,钻采、地面为保障,实施油藏、钻采、地面一体化研究,一体化设计,一体化运行,形成了滩浅海油田开发一体化模式,做到整体部署、分期实施、优化投资,提高经济效益,确保了滩浅海油田的经济高效开发。

细分加密后将原先的1套层系划分为2或3套,井距从500 m减小到300 m,新钻井400余口,采油速度提高0.7%,注采对应率提高21.8%,水驱控制程度提高34.5%,采收率提高20.2%。

2.2 滩浅海油田整体注采调控技术

滩浅海油田从油藏到地面各个环节(油藏条

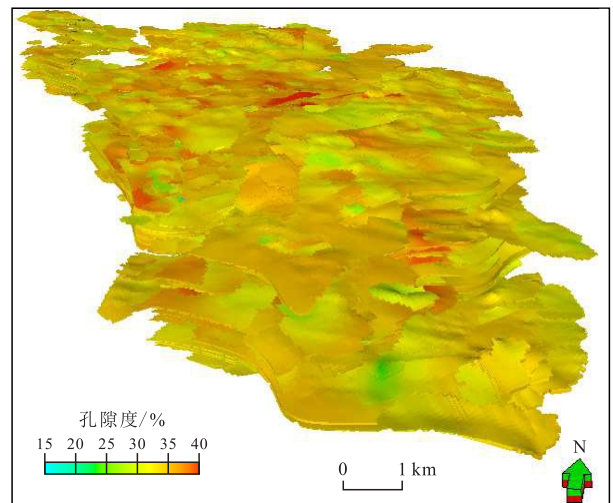


图4 埕岛油田馆上段砂体三维地质模型

Fig.4 3D geological model of sand body in Upper Guantao Formation in Chengdao Oilfield

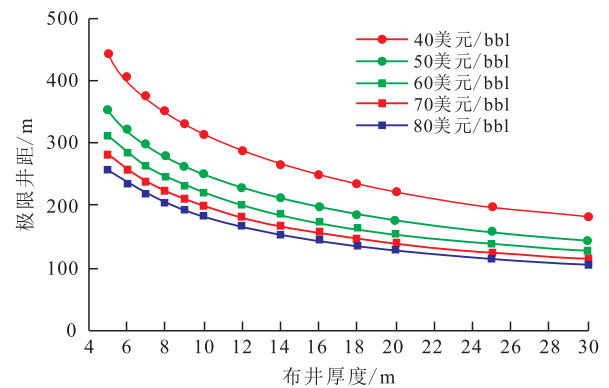


图5 埕岛油田不同油价下极限井距与布井厚度关系图版
Fig.5 Relationship between limit well spacing and thickness at different oil prices in Chengdao Oilfield

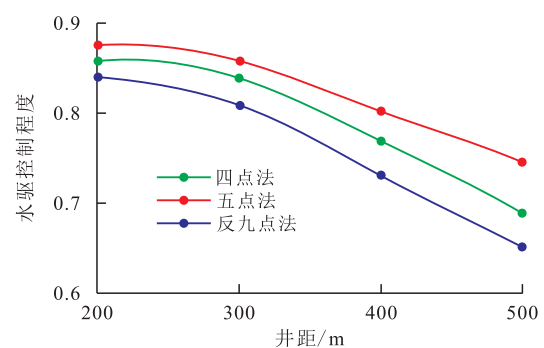


图6 埕岛油田馆上段油藏水驱控制程度对比
Fig.6 Comparison of waterflooding control degrees of Upper Guantao Formation in Chengdao Oilfield

件、经济效益、现场实施、海工处理等)相互影响、相互制约,因而滩浅海注采优化是一个复杂大系统耦合优化的问题。通过对地下地面一体化注采优化技术的研究,建立地下油藏均衡注采方法、地面多级管网产液结构优化方法,编制了油藏海工一体化整体注采调整方案,从而实现地下、地面资源的最佳利用,提高整体开发效果和经济效益,为滩浅海

油田“十三五”持续稳定发展提供技术支撑^[21]。

2.2.1 地下油藏均衡注采方法

通过建立油藏典型概念模型,开展数值模拟,确定动、静态单因素及多因素影响程度,建立单井产液量图版;在考虑井组间非均质性、井距、含水率、井网完善程度、井距偏移量等关键因素差异性的基础上,论证井组间差异化注采技术政策,建立了合理产液量查阅图版,快速确定不同井组产液量。平面上,基于井间砂体连通程度,划分驱替模式,建立差异化调配图版,达到多井干扰注采均衡,形成了平面矢量化均衡注采方法^[22],实现了平面最大化均衡驱替。针对纵向注采矛盾,考虑纵向砂体连通性、纵向分层含油饱和度,建立基于剩余油法确定各层配注量的计算公式,分层精准配注,扩大纵向波及,减小层间矛盾;引入纵向差异动态表征的拟渗流阻力参数,确定了考虑动态非均质性注水层段细分界限,以实现纵向各层最大化均衡驱替。

2.2.2 “管网-平台-单井”三级产液结构优化方法

埕岛油田采用拓扑式集输管网系统(图7),其复杂管网间产液结构分三级优化:中心平台-管线、管线-平台、平台-单井。针对多级集输管网结构产液量不均衡的问题,基于油藏实际产液能力与管输能力的分析,考虑油藏潜力的差异性,以经济效益为目标,以数值模拟计算得出的采液速度变化幅度与含水率变化幅度关系曲线为依据,建立约束优化模型,采用无梯度优化算法—遗传算法进行求解,优化不同单元及单元内不同井间的整体产液结构,确定各节点及单元的最佳合理产液量,实现在产液量处理能力有限条件下产油量最大化。“管网-平台-单井”三级产液结构调整后,整体增油量提高8%,产液量不变情况下,可降低综合含水率1.1%。

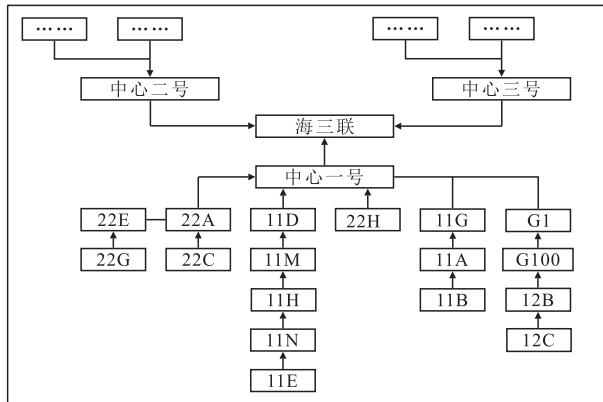


图7 滩浅海油田拓扑式集输管网示意
Fig.7 Topological gathering network of beach-shallow sea oilfield

2.3 海油陆采高效开发技术

“十一五”期间,勘探发现了多个滩浅海外围油田,具有较大资源潜力,但这些油田位于水深小于5 m的滩涂地区,距岸距离2~5 km,超过了大位移定向井所能钻探的最大水平位移。针对这类油藏品位低、单井产量低且地面条件恶劣等问题,经过持续技术攻关,开展窄河道砂体预测及其含油性判别研究,夯实地质基础;同时细分砂体类型,开展不同类型砂体关键开发政策研究,创新“进海路+人工岛”的海油陆采一体化开发模式,降低投资成本,实现滩浅海低品位油藏的效益开发^[23]。

2.3.1 窄河道油藏开发优化技术

滩浅海外围低品位油藏具有河道窄、砂体小而零散的特点,储量落实程度较低,效益动用难度大。针对以上问题,攻关形成了窄河道小砂体预测技术。首先通过开展薄层砂体地震敏感性分析,优选瞬时振幅与瞬时频率敏感属性,建立薄层敏感指示因子,进行砂体边界精细刻画,应用分频段协同反演预测技术,开展边际砂体厚度预测,识别精度由5 m提高到2~3 m。基于储层描述结果,根据砂体形态、厚度及流体类型对区块内所有砂体进行详细分类,总结不同类型砂体在平面及纵向上的组合模式,针对不同组合模式,建立相应地质概念模型(图8),利用油藏工程方法和数值模拟技术,优化人工

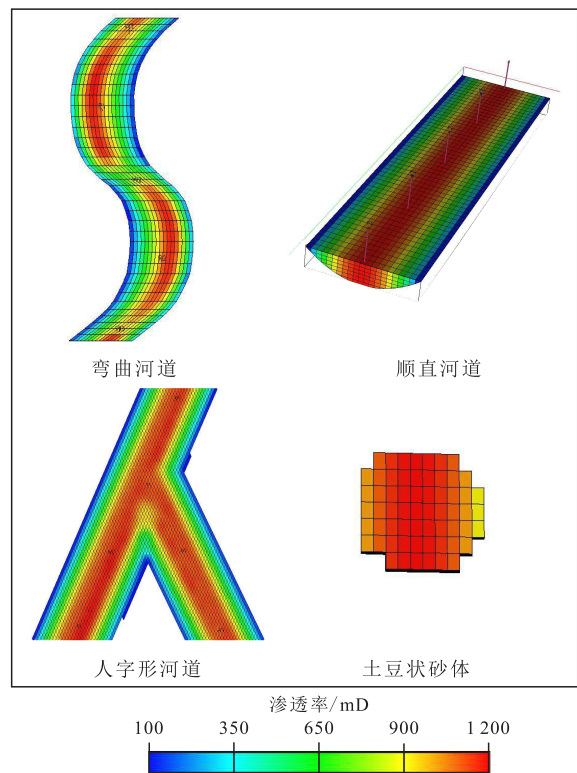


图8 不同类型砂体概念模型
Fig.8 Conceptual models of different types of sand bodies

岛位置、井型、井网密度及井网形式,提高区块储量动用率及水驱储量控制程度。在此基础上,优化纵向上射孔层位、射开程度、注采参数、产液量,提高单井产量,延缓水驱递减,提高油田最终采收率。老河口油田老168块应用该技术,储量动用率达到95%,注采对应率为86%,初期单井日产油量提高50%,标定采收率为28%。

2.3.2 海油陆采一体化开发模式

针对近岸滩浅海砂体零散、储量丰度低、平台建设难度大、效益低等问题,综合考虑油藏、钻井、采油、地面建设、施工周期等影响因素,优选“进海路+人工岛”的海油陆采一体化开发模式,配套高密度大位移井的钻完井及举升技术,解决单平台井位密集情况下的钻井防碰及举升难题;利用厚淤泥层地带路岛建设技术,提高了路岛的安全级别,降低40%以上海工投资,同时按照统筹考虑、整体部署、分批实施、跟踪调整的原则,以油藏为基础,滚动评价与建产能的同步实施,修进海路与建人工岛同步实施,分扇区多部钻机同步实施,钻井与投产同步实施,勘探、开发、工程一体化研究,一体化设计,一体化运行,形成了独具特色的海油陆采一体化滚动开发模式,缩短产能建设周期,实现了滩浅海外围低品位油田的高效动用^[14]。

老168块依托海油陆采高效开发技术,建成中国石化最大海油陆采单体人工岛(图9),是胜利油田海油陆采一体化开发模式的样板工程,技术推广应用到垦东12块、青东5块等5个滩浅海边际油田的高效开发(平衡油价为50美元/bbl)。



图9 老168块进海路与人工岛

Fig.9 Sea roads and artificial islands of Block Lao 168

2.4 滩浅海边际油藏高效开发技术

胜利滩浅海地区除埕岛油田主体馆陶组整装油藏外,埕岛东部及外围潜力未动用储量规模大,具有位置边远、分布零散、规模小、丰度低等特点,

水深处于5~18 m,“进海路+人工岛”海油陆采一体化开发模式已不适用,按传统开发模式,海工配套投资高、占比重,平衡油价整体达到约89美元/bbl,效益动用面临较大挑战。为此,在推广应用窄河道小砂体油藏开发优化技术基础上,针对薄层砂体预测、大幅提产及长期效益开发存在的问题,攻关形成了滩浅海边际砂体有效动用技术与水平井差异化调控技术,实现滩浅海边际油藏高效开发。

2.4.1 滩浅海边际油藏有效动用技术

滩浅海边际油藏具有储层相变快、储量丰度低、产能低的特点,在推广应用窄河道小砂体预测技术的基础上,重点开展成藏控制因素研究,建立基于叠前弹性反演储层流体预测技术;含油性吻合率达到84.6%,落实了储量规模。应用“MRC+大压差”技术,针对不同类型砂体建立了4种不同的布井模式,即层单一、边底水油藏,部署水平井;夹层单一,纵向两层采用纵向分支水平井;夹层复杂,纵向油层集中采用多靶点大斜度定向井;宽、薄砂体采用鱼骨状分支水平井,实现钻井轨迹与油藏接触面积最大化,提高储量动用率。结合原油黏度与井型的差异,开展合理的差异化生产压差论证(图10),提高初期产量50%;以最大技术井距和经济极限井距为上下界限,根据砂体连通状况,最大限度拉大井距,充分发挥油藏潜力。通过建立不同油价、不同投资条件下的单井经济界限图版,进行井网部署,并以利润和内部收益率2个参数为目标,开展一井一评价,形成技术+经济最优井网,实现滩浅海边际油藏效益动用。

2.4.2 水平井差异化调控技术

水平井的泄油面积大,储量动用程度高,产能为定向井的2~5倍^[24]。滩浅海边际油藏部署水平井占比较高,以埕北18块为例,区块内水平井占比为51%,开发初期其产量占总产量的69%,实现了区块效益动用。随着开发阶段的深化,出现了产量递减快、含水率上升快等问题,水平井开发效果变差,为此开展了技术攻关,形成了水平井差异化调控技术。针对效果评价指标多,准确定量评价难度大的问题,建立了以采收率为核心,以开发生产、能耗经济为辅助的评价体系,引入反映开发策略与油藏条件适配度的定量评价因子,将水平井分类,明确调控重点对象。绘制单井效果多因素综合评价图版(图11),明确开发效果主要影响因素,结合效果评价与因素研究结果,划分注采单元类型,并明确了调控目标与调控策略。该项技术应用于埕北18块,

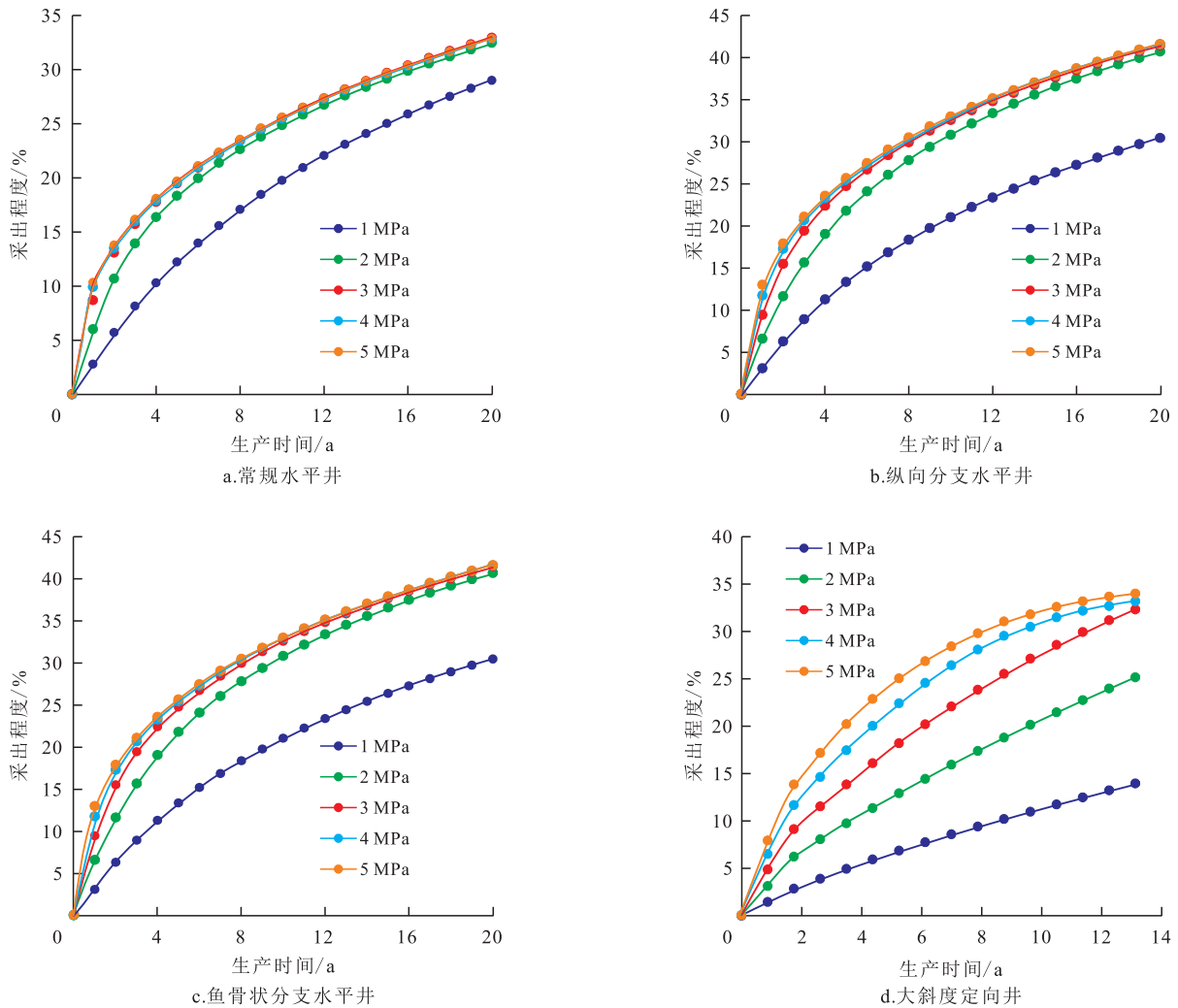


图 10 不同井型的生产压差优化结果

Fig.10 Optimization results of differential production pressures for different well types

共实施调控 59 井次, 含水上升率降到 2.8%, 采收率提高 5.8%, 实现水平井单元效益稳产。

滩浅海边际油藏高效开发技术指导了埕岛油田埕北 208 块、埕北 18 块等多个边际油藏高效建产与调整, 覆盖储量约 $4\ 000 \times 10^4\ t$, 单井日产油量在 70 t/d 以上, 实现了油价为 40 美元/bbl 下滩浅海边际油藏效益建产, 支撑了胜利滩浅海油田持续上产。

2.5 复杂裂缝性潜山储集体描述技术

目前, 潜山油藏开发过程中面临钻井成功率低、产量下降快、采油速度低的现状, 标定的采收率仅为 15% 左右, 经济效益较差。相对于国内外碳酸盐岩油藏, 胜利滩浅海潜山油藏受构造、岩性等多种控制因素的影响, 储集空间类型多样且尺度小 (毫米-厘米级), 非均质性强。综合研究认为储层认识不清是制约潜山油藏储量有效动用和提高采收率的关键因素^[25-26]。为此, 通过露头、岩心和测井资料的综合研究, 建立了胜利滩浅海潜山油藏“断-缝-溶”储集体发育模式: 由多幕构造运动产生的分布

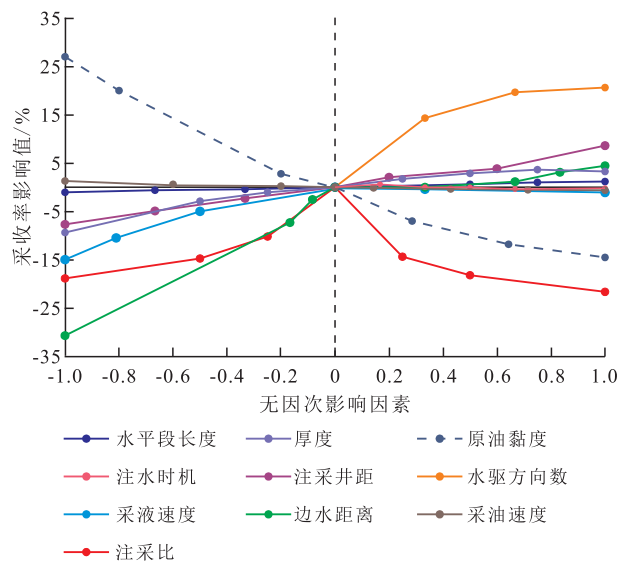


图 11 单井效果多因素综合评价图版

Fig.11 Multi-factor comprehensive evaluation chart of single well effect

于断层周围的, 以断层派生裂缝和顺缝溶蚀产生的孔洞为主的储层发育带 (图 12)。针对不同尺度储

集空间,优选地震敏感参数,首创三步法综合预测“断-缝-溶”储集体技术:第一步,采用相干体等技术落实大断层展布;第二步,利用方向滤波与杂乱度属性,描述内幕断层空间展布;第三步,采用地震波形指示反演方法,描述小尺度裂缝分布。综合不同尺度储层的反演结果,采用频率融合法,形成了多参数融合的“断-缝-溶”精细表征技术,实现了潜山储集体从定性到定量描述的突破,有利储集带预测吻合度达到81%。

通过“断-缝-溶”储集体预测技术对胜利滩浅海潜山油藏进行了精细刻画,部署了多靶点大斜度定向井,多穿储集体,并开展了一井一策优化设计、地质工程一体化跟踪,高效动用了埕北30-306、埕北313、桩古斜473等多个区块。

3 面临的挑战与发展方向

3.1 面临的挑战

目前,胜利滩浅海油田整体呈现上产开发态势,处于高质量发展转型期,作为胜利油田重要产量增长点之一,要实现持续效益上产面临两方面严峻挑战。

一是上产需求和储量品位低矛盾突显,效益建产难度越来越大。“十三五”末滩浅海老区综合调整全部完成,保障了滩浅海油田近15 a的持续上产。但“十四五”以来,建产阵地由主体向边部转移,平面上具有位置边远、分布零散的特点,纵向上涵盖馆陶组、东营组、古生界等6套层系,油藏类型多样。其中浅层馆上段以窄河道为主,储层具有散、薄、单、稠特点,单砂体储量规模多小于 $50 \times 10^4 \text{t}$;中深层油藏类型多,储层薄且物性差,原油性质差异大,同时纵向层系多但不叠合,产能低,可供建产的储量品位越来越差。虽然当前胜利滩浅海油田潜力未动用储量规模大,但按常规开发模式平衡油价为65~120美元/bbl,效益动用难度大。

二是老区稳产基础和液量受限矛盾突显,存量控递减难度越来越大。埕岛油田主体老区目前综合含水率为87%,进入高含水期,含水率大于90%油井占比为44%,水驱波及降低,剩余油分布更加复杂,无效水循环加剧,运行成本快速增加。以补孔换层为主的措施工作量急剧减少,油井措施效果呈现下降趋势。此外新建产能区块品位变差,初期效果较好,后续产量递减大。特别是近3 a来,整装油藏新井产量占比由“十二五”的96.3%下降到

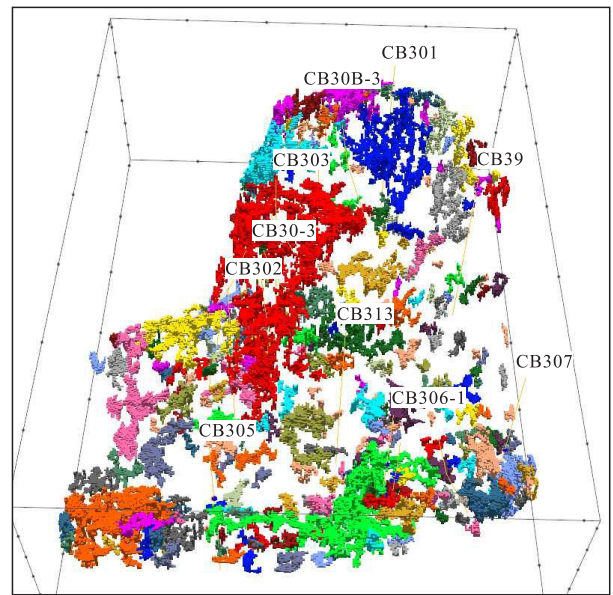


图12 埕北30-306井区储集体三维雕刻图
Fig.12 3D reservoir body of CB30-306 area

34%,零散的中低渗透、潜山等油藏产量占比由3.7%提高到66%,产量递减率在30%左右,远远大于整装油藏产量递减率6%,后续稳产难度大。

3.2 发展方向

3.2.1 胜利滩浅海油田新区高效建产攻关方向

围绕新区效益建产的目标,针对储量品位低、海工配套投资高等问题,提出扩大储量动用规模、大幅提高单井产能的技术对策。首先要夯实地质基础,做实储量规模,开展不同类型油藏的储层预测技术攻关。针对馆上段窄河道砂体、馆下段辫状河砂体、东营组下段浊积砂体、古生界裂缝性潜山油藏各自储层描述难点,在明确沉积及成藏规律的基础上,在少井条件下,井震结合开展正演模拟、地震目标处理、叠前反演、储集体连通单元刻画等关键技术攻关,形成不同类型低品位储层预测技术,精细刻画滩浅海低品位油藏储层展布特征,夯实储量基础。

其次要转变思路,开展地上地下一体化协同布局,在经济评价确定建产储量规模的基础上,通过“1+N”模式组合建产,即以1个大平台为中心,利用大位移井在平面上辐射动用N个储量区块,在纵向上动用N套含油层系,扩大储量动用规模;根据地下储量分布范围和钻机覆盖能力,优化平台规模及位置,从而有序实施产能建设,不断降低成本。

秉承“少井高产、极致优化”的理念,发挥油藏最大潜力,提高区块建产效益。重点攻关滩浅海复式油气藏有效动用技术、滩浅海中低渗透油藏有效驱替技术、潜山油藏有效补能提采机理与开发技术

政策研究及边水稠油堵水降黏调驱等关键技术,配套大幅提产能技术体系,包括钻井“旋导+探边”仪器组合、变密度泥浆固井、长水平段水平井裸眼充填防砂、大型酸压储层改造等关键技术,保障大幅度提升单井产能,降低方案平衡油价,实现滩浅海低品位油藏的有效动用。

3.2.2 胜利滩浅海油田老区提高采收率攻关方向

陆上整装油田开发实践证明,老区潜力释放是经多轮次调整与超长开发周期的结果,例如胜坨油田采出程度从24%到42%,走过了30 a时间。而滩浅海油田开发平台寿命有限,要达到较高的采收率水平,实现高速高效开发,必须要在短时间内走过陆上油田漫长的开发过程。目前埕岛油田主体馆上段已进入高含水阶段,但采出程度仅为28%,仍具有较大潜力,目前实施水驱与化学驱“二三”并举的开发策略,是实现老区再提速的关键。

针对埕岛油田主体老区砂体多期叠置、连通性认识不清、剩余油分布复杂等问题,亟需攻关少井条件下储层构型表征技术,建立辫-曲过渡型河流相构型单元参数计算模型,充分挖掘地震信息,井震结合识别构型单元;建立基于构型的砂体连通模式;攻关基于机器学习的砂体连通程度定量评价技术,提高连通性判识精度。攻关多尺度分级构型建模技术,在构型建模基础上开展多开发方式混合数值模拟研究,弄清在水聚同驱条件下不同构型单元的剩余油分布规律,建立剩余油分布模式,为老区存量挖潜提供基础。

在大幅提高采收率技术方面,针对平面矛盾加剧、剩余井槽有限等问题,在明确剩余油分布规律的基础上,攻关平台集约化井网抽稀变流线、一井多眼井网加密变流线等开发技术,有效挖潜剩余油,提高平面均衡驱替程度。针对纵向动用不均衡等问题,攻关基于大模型的智能注采调控技术,基于整体建模数模一体化模拟结果,在层系细分重组基础上,通过智能化、信息化手段实现分采分注实时调控,提高非主力层动用程度。立足“二三结合”提速开发关键阶段,持续完善井网,做大水驱增量,同时加快化学驱实施进度,进一步提高采油速度,在短周期内实现总体采收率最高、效益最优。针对化学驱见聚后含水率回返等问题,攻关聚合物驱后优势渗流通道识别技术、基于优势渗流通道表征的剩余油挖潜技术和基于平台集约化的“3+2”开发方式下的二次井网重构等关键技术,有效动用“油墙”,拓宽含水率低谷期,延长见效高峰期。

未来通过持续加强产研结合、一体化攻关,创新形成适应当前胜利滩浅海油田发展形势的开发技术系列,高效推进产能建设、精准开发夯实老区稳产基础,做大增量,做优存量,支撑胜利滩浅海油田持续上产。

4 结论

胜利滩浅海油田开发经历了试采、快速上产、注水稳产、综合调整与精细注采4个阶段,经过多年实践探索,根据自身开发特点,形成了具有胜利特色的滩浅海油田开发技术系列。

针对埕岛油田主体储层相变快、连通关系复杂的特点,创新形成了少井条件下河流相储层表征技术;针对埕岛油田馆陶组油藏中高含水期层间干扰严重,产液量低、采油速度低、预测采收率低等问题,通过精细油藏描述建立上亿节点地质模型,以此开展建模数模一体化研究,形成了“层系细分、井网加密、特殊结构井单层开发”等调整技术,并首创了以单井为中心的“平面-纵向-地面”的立体多维度精准注采调控技术,配套地质工程一体化优快钻井技术、地质工艺一体化优质完井技术及大斜度长效分层注水工艺,实现了滩浅海油田二次提速开发,产量突破 300×10^4 t并保持持续上产。针对滩浅海边际油藏砂体薄、分布零散及砂体组合动用难度大等问题,经过持续科研攻关,创新形成了窄河道小砂体油藏开发优化、海油陆采一体化开发模式、滩浅海边际油田有效动用、水平井差异化调控等技术,实现了油价40美元/bbl下滩浅海边际油藏效益建产与效益稳产。针对潜山油藏储集空间尺度小、类型多样、单井产能差异大等问题,开展了潜山油藏高效开发技术攻关,创新形成了多参数融合的“断-缝-溶”储集体表征技术,建立了“断-缝-溶”储集体发育模式,精确描述“断-缝-溶”储集体三维空间展布;在此基础上,通过地质工程一体化优化,多靶点精准设计,提高单井控制储量,大幅提升单井产能。

目前,胜利滩浅海油田开发面临上产需求和储量品位低矛盾突显、老区稳产基础和结构矛盾突显两大挑战,需要持续加强技术攻关储备,形成相应的技术对策和配套技术,夯实稳产上产的基础。未来应攻关不同类型油藏的储层预测、滩浅海复式油气藏有效动用、基于储集体连通性表征的开发调整等技术,配套大幅提产能技术体系,突破更低品位

油藏高效建产。持续攻关少井条件下储层构型表征、滩浅海复式油气藏效益动用、基于平台集约化的“3+2”开发方式下的二次井网重构、基于大模型的智能注采调控等关键技术,不断提高胜利滩浅海地区已动用油藏的采收率,为胜利滩浅海油田高质量持续发展提供技术支撑。

参考文献

- [1] 宋万超.胜利滩海油田开发技术应用研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2001,25(2):73-75.
SONG Wanchao. Application of petroleum exploitation technologies to Shengli seabeach oilfields [J]. Journal of China University of Petroleum: Natural Science Edition, 2001, 25 (2): 73-75.
- [2] 肖丽,陈清汉.埕岛极浅海油田高速高效开发配套技术[J].海岸工程,2007,26(2):32-37.
XIAO Li, CHEN Qinghan. A complete set of techniques for high speed and high efficiency development of Chengdao epeiric sea oilfield [J]. Coastal Engineering, 2007, 26(2): 32-37.
- [3] 李阳,徐英霞,李延军.埕岛油田馆陶组油藏高产开发技术[J].油气采收率技术,1998,5(2):36-40.
LI Yang, XU Yingxia, Li Yanjun. High-production development technique in Guantao formation reservoir in Chengdao oilfield [J]. Oil and Gas Recovery Technology, 1998, 5(2): 36-40.
- [4] 张学才,刘华,张芷晴,等.济阳坳陷埕岛东部地区断层特征及其与新近系油气富集关系[J].油气地质与采收率,2022,29(3):1-10.
ZHANG Xuecai, LIU Hua, ZHANG Zhiqing, et al. Fault characteristics and their relationships with hydrocarbon accumulation in Neogene in eastern Chengdao area, Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2022, 29 (3): 1-10.
- [5] 卢姝男,吴智平,程燕君,等.济阳坳陷滩海地区构造演化差异性分区[J].油气地质与采收率,2018,25(4):61-66.
LU Shunan, WU Zhiping, CHENG Yanjun, et al. Division of differential tectonic evolution in Shengli shallow sea area of Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(4): 61-66.
- [6] 高喜龙.渤海湾盆地埕岛油田前寒武系基底构造及储层特征[J].石油天然气学报,2012,34(1):45-49.
GAO Xilong. Precambrian base structure and reservoir characteristics of Chengdao Oilfield in Bohai Bay Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(1): 45-49.
- [7] 陈清汉,徐冬梅,朱凯,等.埕岛极浅海油田注采方案优化研究[J].钻采工艺,2004,27(3):53-56.
CHEN Qinghan, XU Dongmei, ZHU Kai, et al. Optimal study on the injection-production projects of Chengdao offshore oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2004, 27 (3): 53-56.
- [8] 王爱景.埕岛油田馆陶组上亚段油藏注水时机动态评价[J].油气地质与采收率,2003,10(1):43-44.
WANG Aijing. Dynamic evaluation of waterflooding timing in upper Guantao Formation reservoirs of Chengdao oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10 (1): 43-44.
- [9] 刘利.埕岛油田馆陶组油藏开发调整技术政策研究[J].油气地质与采收率,2006,13(3):79-81.
LIU Li. Adjustment of development technique policy of Guantao Formation oil reservoirs in Chengdao Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(3): 79-81.
- [10] 季雅新.埕岛油田合作开发与自营开发效果分析[J].油气地质与采收率,2006,13(4):102-104.
JI Yaxin. Effects analysis of joint-operated and self-operated development in Chengdao Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(4): 102-104.
- [11] 刘丽.埕岛油田馆陶组曲流河砂体叠置模式[J].岩性油气藏,2019,31(1):40-48.
LIU Li. Sandbody superimposed pattern of meandering river facies of Guantao Formation in Chengdao Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2019, 31(1): 40-48.
- [12] 岳大力,李伟,王军,等.基于频融融合地震属性的曲流带预测与点坝识别:以渤海湾盆地埕岛油田馆陶组为例[J].古地理学报,2018,20(6):941-950.
YUE Dali, LI Wei, WANG Jun, et al. Prediction of meandering belt and point-bar recognition based on spectral-decomposed and fused seismic attributes: a case study of the Guantao Formation, Chengdao Oilfield, Bohai Bay Basin [J]. Journal of Paleogeography, 2018, 20(6): 941-950.
- [13] 束青林,张本华,高喜龙,等.埕岛极浅海油田高速高效开发调整关键技术[J].油气地质与采收率,2020,27(3):1-12.
SHU Qinglin, ZHANG Benhua, GAO Xilong, et al. Key technologies of high-speed and high-efficiency development and adjustment of Chengdao shallower sea oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(3): 1-12.
- [14] 张海娜,常润峰,许彦群,等.Petrel建模技术在埕岛油田开发调整方案中的应用[J].内蒙古石油化工,2009,35(4):125-127.
ZHANG Haina, CHANG Jianfeng, XU Yanqun, et al. The study of geological modeling of fluvial reservoir of shoal oilfield [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 35 (4): 125-127.
- [15] 叶小明,王鹏飞,霍春亮,等.海上复杂碎屑岩储层油气藏地质建模关键技术[J].中国海上油气,2018,30(3):110-115.
YE Xiaoming, WANG Pengfei, HUO Chunliang, et al. Key techniques for geological modeling of offshore complex clastic rock reservoirs [J]. China Offshore Oil and Gas, 2018, 30(3): 110-115.
- [16] 李健,杨明任,杜玉山,等.概率神经网络在盐水水淹层识别中的应用[J].油气地质与采收率,2022,29(6):121-129.
LI Jian, YANG Mingren, DU Yushan, et al. Application of probabilistic neural network in saline water flooded layer identification [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2022, 29(6): 121-129.
- [17] 唐晓红.埕岛油田馆陶组油藏开发调整技术政策评价[J].海洋

- 石油, 2012, 32(1): 70-73.
- TANG Xiaohong. Effect evaluation of development adjustment technology policy of Guantao reservoir in Chengdao Oilfield [J]. *Offshore Oil*, 2012, 32(1): 70-73.
- [18] 唐晓红. 埕岛油田中高含水期综合调整对策研究[J]. *油气地质与采收率*, 2011, 18(6): 90-93.
- TANG Xiaohong. Comprehensive adjustment study on Chengdao offshore oilfield in medium or high water cut development stage [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2011, 18(6): 90-93.
- [19] 牛明超. 埕岛油田馆陶组油藏合理地层压力研究[J]. *石油地质与工程*, 2012, 26(4): 91-92.
- NIU Mingchao. Study on reasonable strata pressure of Guantao formation reservoir in Chengdao Oilfield [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2012, 26(4): 91-92.
- [20] 周英杰. 埕岛油田提高水驱采收率对策研究[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(4): 465-469.
- ZHOU Yingjie. Measures to improve water drive recovery efficiency of offshore Chengdao Oilfield [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(4): 465-469.
- [21] 翟亮, 蔡文杰, 卢俞辰, 等. 海上油田群地面与地下协同注采优化方法[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2022, 46(4): 86-93.
- ZHAI Liang, CAI Wenjie, LU Yuchen, et al. Optimization method of surface and underground coordinated injection and production in offshore oil fields [J]. *Journal of China University of Petroleum: Natural Science Edition*, 2022, 46(4): 86-93.
- [22] 刘敏. 埕岛油田馆陶组上段油藏合理产液量及注水量矢量优化方法[J]. *油气地质与采收率*, 2017, 24(3): 105-109.
- LIU Min. Vector optimization method for reasonable fluid production and water injection rate of reservoir in the Upper Guantao Formation, Chengdao oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2017, 24(3): 105-109.
- [23] 胡光义, 孙福街, 范廷恩, 等. 海上油气田勘探开发一体化理念、基本思路 and 对策[J]. *中国海上油气*, 2013, 25(6): 61-64, 69.
- HU Guangyi, SUN Fujie, FAN Ting'en, et al. A conception of exploration-development integration and the relative working principles and procedure in offshore oil and gas fields [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2013, 25(6): 61-64, 69.
- [24] 孙昕迪, 白宝君. 国内外水平井控水技术研究现状[J]. *石油勘探与开发*, 2017, 44(6): 967-973.
- SUN Xindi, BAI Baojun. Comprehensive review of water shut-off methods for horizontal wells [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, 44(6): 967-973.
- [25] 王志伟, 张凯, 张本华, 等. 胜利海上油田下古生界潜山油藏储层描述与开发调整[J]. *断块油气田*, 2022, 29(2): 178-182.
- WANG Zhiwei, ZHANG Kai, ZHANG Benhua, et al. Reservoir description and development adjustment of the lower paleozoic buried hill in Shengli offshore oil field [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2022, 29(2): 178-182.
- [26] 马立驰, 王永诗, 景安语. 渤海湾盆地济阳坳陷下古生界潜山勘探新认识与新发现[J]. *油气地质与采收率*, 2021, 28(1): 10-16.
- MA Lichi, WANG Yongshi, JING Anyu. New understanding and discovery of exploration of Lower Paleozoic buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2021, 28(1): 10-16.

编辑 经雅丽