

金湖凹陷三河次凹阜二段产能影响因素

张凯凯, 李晓凤, 孙晓庆, 蔡新明
(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 金湖凹陷三河次凹主要含油层系为古近系阜宁组阜二段, 近年来相继发现H3、H4、H8、H9等含油断块, 但始终未得到有效开发。主要问题是由于目前各试采断块油气产能差异较大。为正确合理地评价三河地区产能主要影响因素, 根据试油试采资料, 结合各井沉积微相、成岩相、孔渗数据等多种参数进行对比研究, 认为影响油井产能的因素主要包括沉积微相、成岩相以及储层物性等, 研究区内滨浅湖砂坝和弱压实成岩相为最有利的沉积及成岩相带。研究结果对区域下步滚动开发的产能预测具有一定指导意义。

关键词: 产能; 影响因素; 阜二段; 三河次凹; 金湖凹陷

中图分类号: TE321 **文献标志码:** A

Factors influencing the production capacity of the second member of Funing Formation in Sanhe Subsag of Jinhu Sag

ZHANG Kaikai, LI Xiaofeng, SUN Xiaoqing, CAI Xinming

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The main oil-bearing layer series in Sanhe Subsag of Jinhu Sag is the second member of the Funing Formation of the Paleozoic System. In recent years, oil-bearing fault blocks such as H3, H4, H8, and H9 have been discovered one after another, but they have never been effectively developed. The main problem is due to the large difference in the oil and gas production capacity of each test block at present. To correctly and reasonably evaluate the main factors influencing the production capacity in the Sanhe area, a comparative study was conducted based on the test oil production data, combined with various parameters such as sedimentary microfacies, diagenetic facies and pore seepage data of each well. It is considered that the factors influencing the production capacity of oil wells mainly include sedimentary micro-phase, diagenetic phase, and reservoir physical properties, etc., and the beach shallow lake sand bar and weakly compacted diagenetic facies in the study area are the most favorable sedimentary and diagenetic facies belts. The research results have certain guiding significance for the capacity prediction of the next rolling development in the region.

Key words: productivity; influencing factors; the second member of Funing Formation; Sanhe Subsag; Jinhu Sag

引用格式: 张凯凯, 李晓凤, 孙晓庆, 等. 金湖凹陷三河次凹阜二段产能影响因素[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(2): 195–198, 203.

ZHANG Kaikai, LI Xiaofeng, SUN Xiaoqing, et al. Factors influencing the production capacity of the second member of Funing Formation in Sanhe Subsag of Jinhu Sag[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(2): 195–198, 203.

对油气储层的产能进行定量评价是油气勘探与开发领域的基本任务, 正确评价储层产能有助于落实油气勘探成果和科学地指导油气田合理开发^[1]。产能准确评价对工程措施和提高油气开发经济效益都具有重要意义。影响单井初期产能的因素主要有地质因素和工程因素。地质因素包括油藏所处的构造位置、沉积微相、断层分布及其性质、裂缝发育情况、砂岩物性、岩石类型、渗透率、含油饱和度、地层压力等; 工程因素包括井网形式、开发方案、施工因素等^[2–8]。

本次主要研究区域为金湖凹陷西北部的三河

次凹, 近年来, 对区域内阜二段滨浅湖滩坝砂体进行了重点研究和刻画, 区域勘探获得发现, 但从目前开发生产情况看, 各生产断块油气产能差异大。本次研究通过分析三河地区产能的主要影响因素, 为区域的进一步滚动勘探及有效开发提供指导。

收稿日期: 2022-04-29; 改回日期: 2022-08-08。

第一作者简介: 张凯凯(1987—), 工程师, 现从事油田开发研究工作。E-mail: zhangkaikai.jsyt@sinopec.com。

基金项目: 江苏油田分公司“金湖凹陷西斜坡构造岩性油藏滚动目标评价研究”(JS21012)。

1 区域储层特征

1.1 纵向含油特征

根据三河地区目前已有钻井、测录井资料,三河次凹南北地区含油层系具有差异性,北部地区油气显示层段主要集中在阜宁组阜二段第三亚段($E_{1f_2^3}$),而南部地区油气显示层段主要集中在阜宁组阜二段第二亚段($E_{1f_2^2}$),在 $E_{1f_2^3}$ 未见油气显示,表明 $E_{1f_2^3}$ 油气总体沿北部构造高带富集。

$E_{1f_2^2}$ 大部分井均见油气显示,但能否成藏与构造圈闭关系密切,如H4断块低部位H4-1井,虽然 $E_{1f_2^2}$ 录井显示见油迹2层,但是实际试油时为水层,主要还是因为位置处于断块油水边界之外,表明 $E_{1f_2^2}$ 形成的主要是构造油藏。

1.2 储层展布特征

三河地区从阜一段至阜二段为典型的水进沉积地层^[9]:在阜一段沉积时期,三河地区发育大型三角洲沉积;阜二段沉积时期随着水位上涨,三河地区整体发育滨浅湖沉积,滩坝砂体分布广泛。

$E_{1f_2^3}$ 下套砂体沉积时期,三河地区处于由三角洲沉积向滨浅湖沉积的过渡阶段,主要物源区靠近西南部,储层厚度较厚;东北部发育一支较小的水下分流河道,中部主要发育一些小规模的滩坝砂体,与西南部相比,储层发育厚度整体偏薄,且储层横向变化快,物性总体较差,仅在H8井区发育相对较好的储层(见图1)。

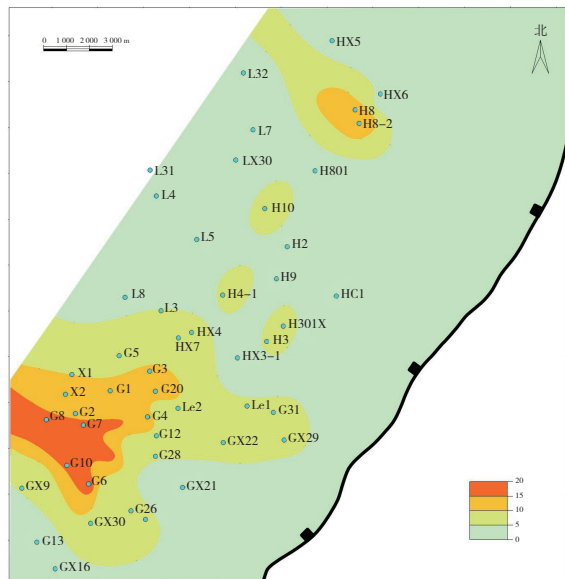


图1 $E_{1f_2^3}$ 砂岩厚度等值线图

$E_{1f_2^2}$ 地层沉积时期,高集及三河地区滩坝砂体发育较广泛,储层横向发育稳定,连续性好。三河

南部H4井—H9井一带储层砂体可以达到15 m左右,北部地区H8—H6井一带位于滩坝侧缘,砂体变薄(见图2)。

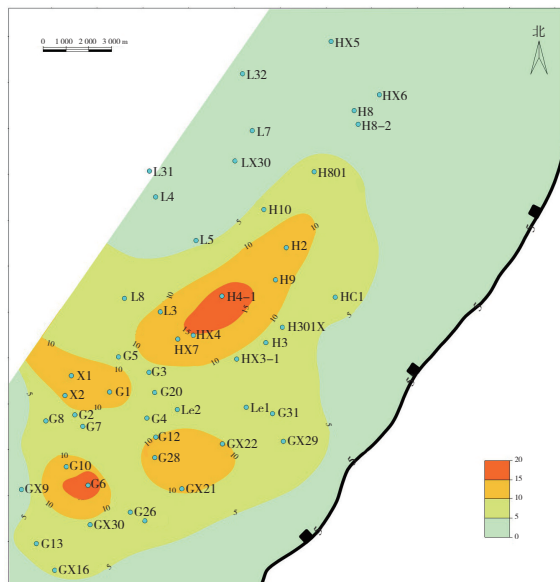


图2 $E_{1f_2^2}$ 砂岩厚度等值线图

1.3 储层物性特征

分析三河地区取心数据可以看出:孔隙度分布为5.0%~23.1%,其中66.2%的样品孔隙度为5.0%~10.0%。渗透率分布为 $(1 \sim 71.9) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中超过90%的样品渗透率低于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (见图3)。总体来讲,三河地区储层物性较差,属于特低孔特低渗储层,这与以往的认识也较为一致^[10]。

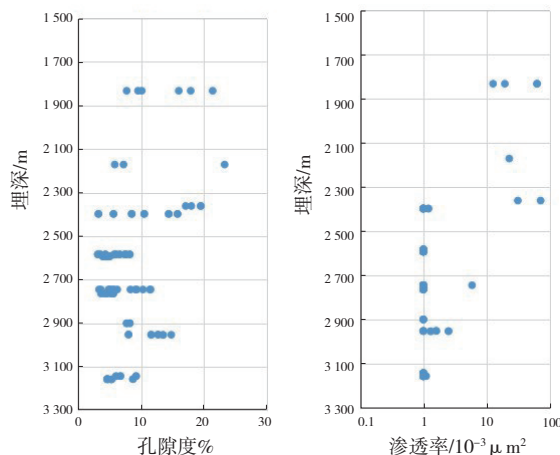


图3 三河地区阜二段孔隙度、渗透率与埋深关系

三河地区孔隙度、渗透率与深度关系图显示储层物性与埋深呈一定负相关性,随着储层埋深增大,储层孔隙度及渗透率均呈现不同程度的下降。当储层埋深大于2 500 m时,对应的孔隙度小于8%,渗透率也低于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;当储层埋深大于3 000 m时,储层渗透率低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2 产能特征及控制因素

2.1 自然产能特征

三河地区阜二段储层总体属于低渗—特低渗储层,统计采油井试油及生产数据,单井初期自然产油量为0.3~6.7 t/d;采油井千米井深产油量为0.10~2.83 t/d,平均1.29 t/d,低于1 t/d的井占33.3%,1~5 t/d的井占66.7%。根据油藏稳定日生产能力等级划分三河地区自然产能为低至特低(见表1)。

表1 油藏日生产能力等级划分

	1	2	3	4	5
千米井深日 产油/t	>50	15~50	5~15	1~5	<1
等级	特高	高	中	低	特低

三河北部地区H8断块初期自然产能可达4.5~6.7 t/d,而三河南部地区的H3、H4等断块初期自然产能仅0.3~2.2 t/d,总体来说,北部地区油井自然产能好于南部地区。

2.2 产能控制因素

2.2.1 沉积微相与产能的关系

从理论上讲,沉积微相决定砂体的发育形态以及渗流特征,所以对单井产能具有一定的控制作用。

三河地区 $E_1f_2^2$ 主要为滨浅湖碳酸盐岩岩坪沉积,包含碳酸盐岩坝和碳酸盐岩滩以及泥坪等沉积微相; $E_1f_2^3$ 主要为滨浅湖砂岩沉积,包含滨浅湖砂坝、滨浅湖沙滩、残留水下分流河道、浅湖泥湾等沉积微相。

通过对油井生产层沉积微相及初期产量分析, $E_1f_2^3$ 滨浅湖砂岩沉积中砂坝微相初期产能最高,沙滩微相次之,而残留水下分流河道砂初期产能最低。形成这种现象的主要原因是砂坝沉积砂岩分选明显好于沙滩沉积,而残留水下分流河道砂由于受湖浪的改造影响,砂岩分选性最差,导致其产能较低。

$E_1f_2^2$ 滨浅湖碳酸盐岩岩坪沉积中碳酸盐岩岩坝微相初期产能明显好于碳酸盐岩岩滩微相。整体上,研究区各种沉积微相的产能关系为:滨浅湖砂坝>滨浅湖沙滩>酸盐岩岩坝>残留水下分流河道>碳酸盐岩岩滩(见图4)。

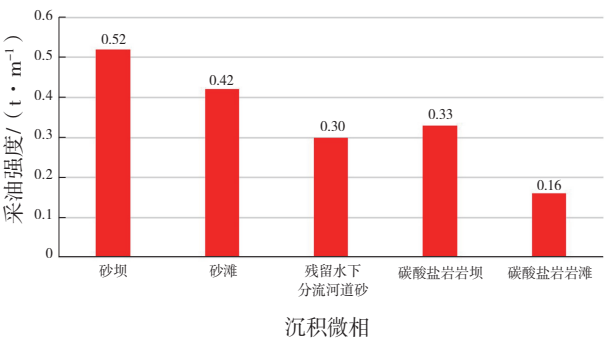


图4 三河地区沉积微相与采油强度关系

2.2.2 成岩相与产能的关系

三河地区 $E_1f_2^3$ 砂岩储层岩石碎屑组成相似,填隙物主要为黏土和方解石,砂岩成分成熟度中等。石英含量为55%~70%,平均60%,长石平均含量和岩屑相近。颗粒间以点—线接触为主。砂岩的碎屑颗粒以极细—细粒为主,分布少量不等粒或其他粒级的砂岩。磨圆度以次棱—次圆状为主,分选程度较好。填隙物组分中黏土平均含量为4.2%,胶结物含量较高,平均为15.2%,其中方解石和白云石含量近似,硅质胶结少见。 $E_1f_2^2$ 碳酸盐岩储层矿物成分主要为方解石和白云石,其中白云石含量为6%~34%,平均14.6%,方解石含量为61%~88%,平均80.2%,填隙物主要为泥晶白云石。

三河地区成岩相可划分为4种:a)弱压实成岩相。一般埋深相对较浅,属于早成岩浅埋环境。岩石相对疏松,颗粒以点接触为主,原生孔隙发育,少量泥晶碳酸盐胶结。b)溶蚀成岩相。岩石半固结—固结,部分颗粒可见线接触,以原生孔隙为主,仅有少量次生孔隙。以高岭石充填为主,可见早期亮晶碳酸盐及石英次生加大。c)中等胶结成岩相。压实使岩石呈固结—强固结,颗粒呈紧密接触,孔隙度较小。但自身伊利石、绿泥石相对较发育,石英增生明显,伴随有长石的钠长石化。d)紧密压实成岩相。埋深大,岩石致密,颗粒呈镶嵌状—线接触,孔隙度小,物性很差。

分析不同成岩相的平均采油强度,弱压实成岩相与溶蚀成岩相平均采油强度相近(见图5),分别为0.53 t/m和0.46 t/m,中等胶结成岩相比前两种成岩相初期产油强度显著降低,只能达到0.28 t/m,而紧密压实成岩相采油强度只能达到0.14 t/m。整体上,不同成岩相的产能关系为:弱压实成岩相>溶蚀成岩相>中等胶结成岩相>紧密压实成岩相。

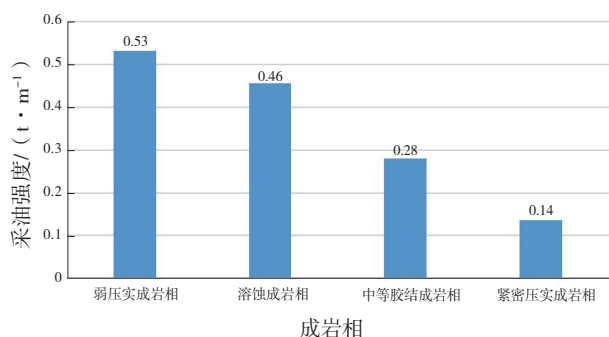


图5 三河地区成岩相与采油强度关系

2.2.3 油藏埋深与产能的关系

三河地区目前已发现圈闭主要为低幅度小断块,平均圈闭幅度小于60 m,油井所处构造位置对产能影响不大^[11]。从储层物性参数与油井初期自然产能来看,总体上三河次凹油井产能大小与储层物性参数相关性较好,分析储层渗透率对油井初期产能的影响程度可以看出,随着储层渗透率的下降,油井采油强度由0.5 t/m逐步下降。从油井初期产能与储层埋深关系可以看出,随着埋深增大,储层物性变差,初期日产液以及采油强度均呈下降趋势,三河北部H8断块油藏埋深为2 200~2 300 m,初期日产油4.5~6.7 t,而三河南部地区埋深较深,H4、H3等断块埋深都大于2 500 m,初期产能较低(见图6)。

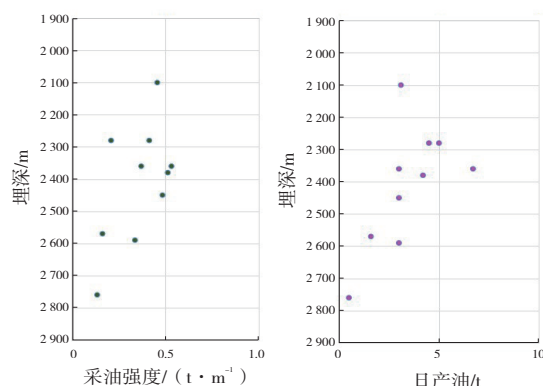
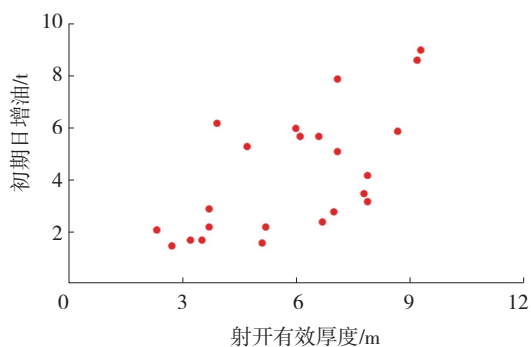


图6 三河地区阜二段日产油和采油强度与埋深关系

2.3 储层改造对产能的影响

水力压裂是低渗透油藏提高产能的主要措施^[12],三河地区由于油井初期产能偏低,大部分井通过压裂提高产能。影响压裂效果的因素可分为地质和压裂工艺两方面,由于三河地区采用的压裂工艺基本相同,所以本文主要探讨地质因素与压裂后产能的关系。统计三河地区压裂井产量数据,压裂后初期普遍能取得3~5倍增产效果。同时通过分析三河地区压裂井压裂后初期产能和累计增油与储层的关系,可以看出在相近的压裂规模条件下,油井压裂后初期产量和油井累计增油与油井射开有效厚度呈正相关关系(见图7)。所以可以认为,压裂后油井累计增油量主要受单井钻遇有效厚度的控制。

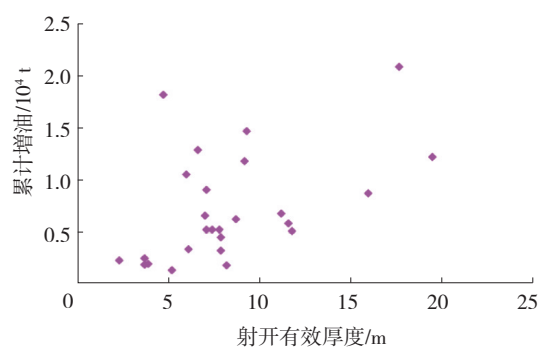


图7 三河地区压裂后初期日增油和累计增油与射开有效厚度的关系

3 结论和认识

(1)影响三河地区油井产能的因素主要包括沉积微相、成岩相以及储层物性,研究区内滨浅湖砂坝、滨浅湖沙滩、酸盐岩岩坝、残留水下分流河道、碳酸盐岩岩滩微相的储层产能逐渐变差。

(2)三河地区阜二段主要为薄层砂泥岩互层,后期成岩作用使储层致密化,控制了最终的储层质

量,从而决定了储层产能的高低。

(3)通过压裂改造可有效提高三河地区单井初期产能,但压裂后单井初期产能和累计增油主要由单井钻遇的有效厚度决定。

(4)综合分析影响产能的主要因素,认为三河地区下步滚动勘探应尽量选取埋深较浅的中—内坡带,同时加强区域沉积微相研究,寻找有利相带,优选下步滚动井位。

(下转第203页)

3 结论

(1)T2谱图像表征参数统计结果表明,2号岩心的孔隙尺寸分布更广,孔喉结构差异更大,非均质性更强;3号岩心具有较大的孔隙度,大孔喉占比多,孔喉结构较好,渗透率较高,实验过程中的剩余油分布状态研究也表明3号岩心驱替效果更好。

(2)在水驱初期,连片状剩余油占主导地位;随着水驱的进行,连片状剩余油体积比例不断降低,而其他三种剩余油比例出现了增加,同时,连片状剩余油体积绝对量不断降低;水驱后期连片状剩余油不再处于主导地位,但体积绝对量与网络状和孤岛状体积绝对量相当,依旧具有较大的开发潜力。

参考文献:

- [1] 高亚军,姜汉桥,王硕亮,等. 基于 Level set方法的微观水驱油模拟分析[J]. 中国海上油气,2016,28(6): 59-65.
- [2] 高亚军,姜汉桥,李俊键,等. 基于 Level Set方法的微观窜流特征研究[J]. 科学技术与工程,2017,17(4):

48-54.

- [3] 王瑞飞,孙卫. 特低渗透砂岩微观模型水驱油实验影响驱油效率因素[J]. 石油实验地质,2010,32(1): 93-97.
- [4] 郭小美,孙雷,周涌沂,等. 裂缝性油藏大尺度可视化水驱油物理模拟实验[J]. 特种油气藏,2011,18(3): 109-111.
- [5] 曲岩涛,姜志敏,史京生,等. 水驱油过程的核磁共振二维谱研究[J]. 波谱学杂志,2012,29(1): 51-59.
- [6] 王军,孟小海,王为民,等. 微观剩余油核磁共振二维谱测试技术[J]. 石油实验地质,2015,37(5): 654-659.
- [7] 宋明明,韩淑乔,董云鹏,等. 致密砂岩储层微观水驱油效率及其主控因素[J]. 岩性油气藏,2020,32(1): 135-143.
- [8] 夏惠芬,李文卓,刘洋,等. 弱碱三元驱后剩余油定量分析[J]. 科学技术与工程,2019,19(24):127-131.
- [9] 徐清华. 大庆油田三元复合驱后微观剩余油分布特征[J]. 大庆石油地质与开发,2019,38(4):110-116.
- [10] 曲岩涛,姜志敏,史京生,等. 水驱油过程的核磁共振二维谱研究[J]. 波谱学杂志,2012,29(1): 51-59.

(编辑 谢 葵)

(上接第198页)

参考文献:

- [1] 许建红. 低渗透油藏产能主要影响因素分析与评价[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2012,34(2): 144-148.
- [2] 孙彦达,王永卓. 大庆外围低渗透油田产能预测影响因素[J]. 石油勘探与开发,2001,28(6):73-76.
- [3] 王秀娟,赵永胜,文武,等. 低渗透储层应力敏感性与产能物性下限[J]. 石油与天然气地质,2003,24(2): 162-166.
- [4] 李红,柳益群,刘林玉. 鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长81低渗透储层成岩作用[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):209-217.
- [5] 何顺利,郑祥克,魏俊之. 沉积微相对单井产能的控制作用[J]. 石油勘探与开发,2002,29(4):72-73.
- [6] 刘晓虹,林畅松,刘俊,等. 低渗透储层产能预测的测井优化建模[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),

2011,33(3):115-120.

- [7] 汪中浩,章成广. 低渗透砂岩储层测井评价方法[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [8] 彭长水,高文君,李正科,等. 注采井网对水驱采收率的影响[J]. 新疆石油地质,2000,21(4):315-317.
- [9] 朱筱敏,信荃麟,张晋仁. 断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J]. 沉积学报,1994(2):20-28.
- [10] 马英俊. 苏北盆地金湖凹陷阜二段砂岩物性影响因素分析[J]. 石油实验地质,2017,39(4):477-483.
- [11] 赫志兵,汪忠浩,张娟,等. 低孔低渗储层产能评价方法——以东濮凹陷卫城油田为例[J]. 石油天然气学报,2010,32(6):81-86.
- [12] 李太伟,杲春,殷玉平,等. 江苏油田水力压裂裂缝导流能力提高方法实验研究[J]. 石油化工应用,2019,38(1):32-36,58.

(编辑 谢 葵)