

黄骅凹陷北大港油田 唐家河开发区东三段储层精细描述

任宝生, 芦凤明

(中国石油 大港油田公司 研究中心, 天津 300280)

摘要: 该文针对油田开发过程中所暴露出的主要矛盾和油田生产急待解决的地质问题, 用高分辨率层序地层对比、微构造研究、细分沉积微相、流动单元研究、注水后储渗参数变化研究、数值模拟等技术对主力油组东三段储层进行了精细描述。纵向上将东三段细分为 10 个时间地层单元、25 个单砂体, 将其三角洲沉积划分为 4 种微相类型。通过对微观孔隙结构、渗流屏障和连通体的研究, 对孔隙结构和流动单元进行了划分, 并研究了储层的非均质性以及注水后储渗参数的变化。最后综合各类研究成果提出了剩余油分布规律, 结合生产动态提出了有效的调整方案, 经实施取得了较好的经济效益。

关键词: 孔隙结构; 非均质性; 渗流屏障; 流动单元; 剩余油分布

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

1 概况

唐家河开发区位于北大港断裂构造带的东北部, 为一被断层复杂化的鼻状构造, 构造面积 33km^2 。1972 年投入开发, 探明含油面积 20.8km^2 , 地质储量 $2\ 986 \times 10^4\text{t}$, 油藏类型以岩性构造油藏为主。

东三段地层为一套碎屑岩沉积, 岩性为细砂岩、粉砂岩与泥岩互层, 油层中深 $2\ 524\text{m}$, 是本次储层描述的主要目的层。

开发区共有各类钻井 201 口, 目前共有油井 58 口, 开井 51 口, 日产水平 402t , 综合含水 92.37% 。目前存在的主要问题是: a) 纵向上缺乏整体认识; b) 原始构造模型需修改和完善; c) 流体分布已经发生根本性变化; d) 油层非均质性严重, 油层层间和平面分布矛盾突出, 形成单层突进和平面舌进, 造成层间开采不均衡; e) 注采系统不完善, 注水井少, 注采无法平衡, 油层压力稳不住; f) 水淹层和低阻油层解释符合率低, 造成部分层补孔、试油与原解释不符。

本文针对唐家河油田开发中所暴露出的主要矛盾和油田生产急待解决的地质问题, 通过对主力层组东营、馆陶地质特征的精细表征, 在精细层序对比

的基础上, 进行构造精细解释, 细分微相, 对储层特征进行研究, 从而建立了构造、储层、流体三大模型; 充分应用新技术新方法, 采用动静结合研究形式, 将储层沉积空间分布状况、储层非均质性与注水开发中油气水运动规律三者结合起来研究, 点面结合寻找剩余油潜力, 为油藏工程研究及下步调整提供可靠地质依据和潜力点。

2 沉积相特征

本次研究引入“高分辨率地层对比”思想, 将东三段划分为 10 个时间单元, 进一步划分为 25 个单砂体。

2.1 沉积相标志

古生物研究显示该区为海陆过渡环境。岩性为砂、泥岩互层, 储层以细砂岩为主, 结构成熟度和成份成熟度较低, 岩石类型属岩屑质长石砂岩及混合砂岩, 反映其搬运距离较短。粒度分析显示该区水动力条件较弱, 以牵引流型沉积为主。

东三段典型的沉积剖面以具板状—楔状层理的细—中砂岩为主要组成部分, 呈现反旋回特征, 具有典型的前积型三层结构层序。砂体平面分布呈朵状扇形体, 反映该区有一定的波浪改造。

综合分析认为,唐家河开发区东三段属波浪改造的河控三角洲前缘—前三角洲沉积。

2.2 沉积微相划分

通过对取心井港 521 井从岩性、物性、沉积构造、古生物、粒度特征、电性特征等方面综合分析,将东三段划分为河口坝、滑塌水道、远砂坝及前三角洲泥 4 种微相^[1,2]。各微相特征及电性识别标志如下:

a) 河口坝相以细砂岩为主,其次为中砂岩及粉砂岩。层理以板状、槽状、波状交错层理为主,并常见植物碳屑组成的层理。平面上河口坝砂体呈舌状、扇形或叶状,剖面上底平顶凸。砂层厚度一般大于 5m,最厚可达 10m 以上,其自然电位曲线形态为箱形、漏斗—箱形,或齿化箱形、齿化漏斗—箱形。

b) 滑塌水道相以细砂岩、中砂岩为主,夹粉砂岩。层理以块状和平行层理为主,有时也出现波状交错层理。粒度概率曲线为 ④类粒度概率曲线。砂体平面上为椭圆状,分布面积不大,分布于前三角洲泥或远砂坝中。砂层厚度变化较大,厚度一般为 8~25m,其自然电位曲线形态为箱形和钟形—箱形两种。

c) 远砂坝相主要为粉砂岩含少量细砂岩,其次为泥质粉砂岩。在泥质粉砂岩中常出现波状层理和水平层理,虫孔及生物搅动构造发育。砂层厚度一般小于 5m,其自然电位曲线呈现齿形—漏斗形或微齿漏斗形。

d) 前三角洲泥岩相主要为泥质沉积,其间夹薄层泥质粉砂岩。电测曲线形态呈低幅齿形或平直状。

2.3 平面相展布及时空演化

通过对 15 个单砂体的沉积微相平面分布图的分析,认为物源方向与三角洲延伸方向一致,呈西北方向,而且平面上微相分布范围有所变迁。

三角洲前缘相的形成经历了雏型期、兴盛期、衰退期 3 个时期。雏型期从东三段开始沉积到 8 号小层沉积末。河口砂坝从北向南推进,水动力开始增强,开发区开始具有三角洲前缘相的雏型。兴盛期从 7 小层开始到 4 小层沉积末,河口坝幅度、范围都很大,相序比较完整,是三角洲前缘相发育的兴盛时期。衰退期从 3 小层沉积末开始,河流作用开始明显减弱,河口砂坝向北收缩。

3 储层物性及孔隙结构特征

3.1 储层物性

东三段储层平均孔隙度为 24.32%,平均渗透率为 $529.75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,储层物性以高孔、中高渗为主。

3.2 孔隙结构特征

本区孔隙以次生粒间孔为主,其次为颗粒内溶孔和颗粒铸模孔。喉道类型主要为缩径喉道和片状喉道。

孔隙结构分类以渗透率为主线,对孔隙结构特征参数进行相关分析,选取与渗透率和孔隙度相关性较好的渗透率和主要流动喉道半径作为主要分类参数,将储层孔隙结构分为 4 大类 8 个亚类^[3](表 1)。

统计表明,iv类、⑤类储层占 77.42%,属于中高渗、中喉—特粗喉型储层。

3.3 孔隙结构影响因素

本区成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀作用和破裂作用。压实作用和胶结作用不仅减小了储集空间,也降低了渗流能力。溶蚀作用增大了储集空间,提高了储层渗流能力。统计表明,溶蚀作用占优势,孔隙结构向好的方向转化。

4 粘土矿物分布及储层敏感性分析

粘土矿物类型有高岭石、伊蒙混层、绿泥石和伊利石。高岭石和伊蒙混层含量较高,分别占总含量的 38.85% 和 37.97%。粘土矿物产状分为 3 种基本类型:分散质点式粘土、搭桥式粘土和薄膜式粘土。

由于高岭石和伊蒙混层含量较高,使本区具有中等速敏、强水敏、强盐敏和无酸敏的特点。水敏实验中注入次地层水时渗透率降低 50%~70%,注入蒸馏水时渗透率最大可降低 97%,其临界矿化度均为地层水矿化度。

5 储层非均质性特征

本区韵律类型有反韵律型、正韵律型和复合反韵律型 3 种。反韵律砂体主要为河口坝和远砂坝沉积,为本区砂体的主要韵律类型,约占 80% 以上;正韵律为滑塌水道微相的特征;而复合韵律为多期砂体叠加而成,以复合反韵律为主。

砂体中夹层发育不稳定,仅少部分夹层在平面上分布范围广,多数夹层只分布于局部。但层内物性变化较大,变异系数一般大于 0.7,非均质性较为严重。

隔层纵向及平面上分布稳定,厚度有变化。层内渗透率非均质性特别强,其变异系数平均为

表 1 唐家河开发区储层结构分类表

Table 1 Reservoir structure subdivision, Tangjiahe Developing Area

类别	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度/ %	主要流动 喉道半径/ μm	平均 喉道半径/ μm	最大连通 喉道半径/ μm
iv类	1A > 2 000	> 25	> 18	> 15	> 24
	2A 1 000~ 2 000	23~ 27	14~ 18	9~ 15	15~ 24
	2B 500~ 1 000	23~ 27	10~ 14	7~ 9	13~ 15
㊸类	3B 500~ 300	23~ 27	10~ 14	7~ 9	12~ 13
	3C 300~ 100	20~ 25	6~ 10	3.4~ 7	9~ 12
㊹类	4C 100~ 10	15~ 25	6~ 10	2.8~ 3.4	7~ 9
	4D 100~ 10	15~ 25	6~ 3	2.0~ 2.8	4~ 7
㊺类	5E < 10	< 20	< 3	< 2.0	< 4

1. 266, 对开发影响较大, 应避免整个油组合采合注。

沉积微相控制着砂体的连通性^[1-4], 位于三角洲前缘相的河口坝、远砂坝, 以及与远砂坝相接的滑塌水道相砂体, 都是同一三角洲前缘相水下环境中沉积而成的, 属同一沉积砂体的不同部分。统计表明, 主力单砂体钻遇率较高, 为 60%~ 73%。有效厚度钻遇率为 4.7%~ 49.3%, 分布系数多大于 0.4, 连通系数一般为 0.3~ 0.42, 砂体连通程度中等。

单砂体渗透率分布受沉积微相影响明显, 平面上河口坝和滑塌水道的孔隙度和渗透率高, 河口坝砂体边缘和远砂坝砂体物性相对较差。单砂体平面上各井渗透率变异系数范围为 1.2~ 2.8, 突进系数都大于 4, 表明各单砂体渗透率平面非均质性很强。

6 流动单元研究

唐家河开发区流动单元研究可分为 3 个层次, 首先确定连通体与渗流屏障的分布, 其次确定连通体内部导致渗流差异的储层质量差异, 最后是流动单元的量化^[1,4]。

根据本区的实际情况, 以渗透率为主线, 应用非线性单相关回归方法, 选取直接影响储集性能而且相对独立的孔隙度、渗透率、渗透率与砂岩厚度乘积、变异系数 4 个变量, 应用“权”导数因子分析方法将东三段砂体分为 4 类流动单元(表 2)。

流动单元剖面研究发现, 小层顶部砂层的流动单元级别普遍高于下部, 同时自 6 小层以下流动单元以 ㊸类为主。

平面流动单元的分布受沉积微相控制, iv类、㊸类流动单元主要分布在河口坝以及远砂坝相拼接的滑塌水道相中, ㊹类、㊺类流动单元则主要分布于远砂坝中。流动单元类型总体从下而上变好, 各小层内部也表现为上好下差的特点。

7 注水后储渗参数变化规律

7.1 储层物性变化特征

唐检 1 井是水淹后的密闭取心井, 统计其水淹层岩石物性分析发现, 水洗后储层与相同层位、相同沉积微相、粒度中值接近的邻井油层对比, 其渗透率普遍降低了(图 1)。另外, 从测井解释的孔隙度和渗透率结果来看, 水洗后有 79% 的单砂体孔隙度和渗透率降低, 另 21% 的单砂体的孔隙度和渗透率反而增大了, 增大的单砂体主要为渗透率较高的 Ed³-6-1、Ed³-6-2、Ed³-8-1 单砂体。

7.2 储层孔隙结构变化特征

根据注水前后取心井铸体薄片和图像分析资料研究, 本区储层注水后孔隙结构普遍变差, 面孔率降低, 其主要表现为粒间孔隙减少(图 2), 平均孔隙直径和喉道直径减小。

表 2 唐家河东三段储层流动单元分类标准

Table 2 Flow unit division standard, Dong ㊸formation, Tangjiahe Developing Area

流动单元	F_i	Φ %	$K/10^{-3} \mu\text{m}^2$	KH	V_k	备注
iv类	> 0.55	≥ 25	> 500	> 1500	< 0.6	河口坝、滑塌水道相
㊸类	0~ 0.55	22~ 25	100~ 500	400~ 1500	0.5~ 0.8	河口坝、远砂坝
㊹类	- 0.6~ 0	18~ 22	10~ 100	< 400	> 0.7	远砂坝
㊺类	$\leq - 0.6$	≤ 18	≤ 10	< 50	> 0.9	远砂坝滑塌水道

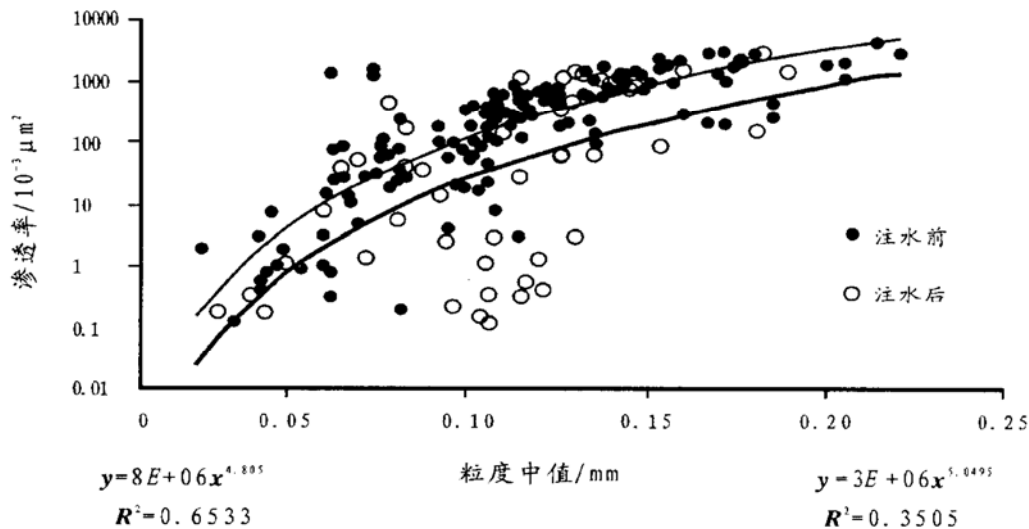


图 1 储层注水后渗透率变化对比图

Fig. 1 Comparison of reservoir permeability changes after water flooding

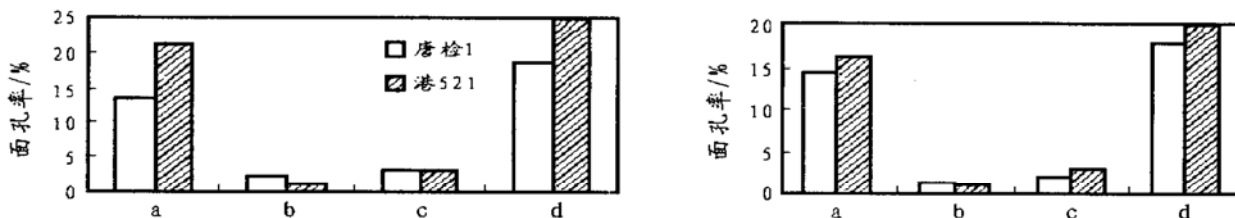


图 2 Ed^3-6-2 (左)与 Ed^3-6-3 (右)注水前后孔隙类型对比图

a. 混合粒间孔; b. 颗粒印膜孔; c. 颗粒内孔; d. 总孔隙

Fig. 2 Comparison of pore type changes after water flooding between Ed^3-6-2 (left) and Ed^3-6-3 (right)

7.3 注水后流体性质变化

据油分析资料统计, 1975 年注水后不同层位原油的粘度和密度都有明显提高, 密度 ($50\text{ }^\circ\text{C}$) 增大 $0.01\sim 0.04$, 其凝固点都有所降低, 焦质+ 沥青质含量增加, 初馏点升高。原油性质变化的主要原因为: 注入流体对地层原油的氧化作用使其焦质+ 沥青质含量增加, 粘度和密度增大, 因而增大了原油流动的阻力, 在一定程度上影响油井的产量和油田采收率。

8 剩余油分布特征及潜力研究

8.1 剩余油分布特征

注水区块层内剩余油富集层段主要分布在正韵律储层顶部低渗带和复合反韵律储层的低渗层段中; 非注水开发区块储层垂向上剩余油富集层段主要分布在各种韵律层的低渗层段中。

层间动用程度差的油层主要集中于地层系数 KH 值较低的薄层低渗油层 $5^1, 7^1, 8^1, 8^2, 9^1$ 砂体中, 它们是层间剩余油挖潜的主要目标。

平面上受微构造、沉积微相、流动单元及注采井网的控制, 剩余油分布在断层附近、微构造高点、物性较差的砂体边部以及井网控制程度低或无注水井的

井间滞留区。iv类、㊸类流动单元开发效果较好, 剩余油主要分布在注水波及不到的死油区及断层边角; ㊸类、㊸类流动单元为剩余油富集区, 如四、五断块井网密度低, 注采系统不完善, 流动单元以 ㊸类、㊸类为主, 采出程度相对较低, 为剩余油富集区。

8.2 挖潜方向和实施效果

综合分析各类研究成果提出以下挖潜方向:

- a) 未利用层: 一类油层 149.4m/55 层、二类油层 394.5m/69 层和气层 211.3m/66 层。
- b) 流动单元控制的潜力层 49.0m/25 层。
- c) 注水波及不到的死油区、断层边角及井网不完善地区, 布井 3 口。

通过研究结合动态分析, 到目前为止实施补层措施 5 井次, 平均单井初期日增油 11.5t, 最大单井初期日产油 20t, 累计增油 7 003t。在港深 18-2 断块部署了港 5048 井, 2000 年 6 月投产初期自喷日产 50t 以上, 不含水, 获得了较好的经济效益。

9 结论

通过对东三段储层特征的详细研究得出以下结论和认识:

a) 东三段划分为 10 个时间单元、25 个单砂体, 其沉积相类型为三角洲前缘—前三角洲相, 细分为河口坝、滑塌水道相、远砂坝和前三角洲泥 4 种微相。

b) 储层物性以高孔、中—高渗为主, 储层孔隙结构以中高渗、中喉—特粗喉型储层为主。粘土矿物以高岭石、伊蒙混层为主, 储层具有强水敏、强盐敏、弱速敏的特点, 注水开发后储层渗透性呈现普遍降低的趋势。

c) 本区储层划分为 4 类流动单元, 以 ⑦类、⑧类流动单元为主, 主要分布于河口坝和远砂坝微相中。砂体分布稳定, 分布面积较大, 夹层发育差。层内、层间及平面渗透率变化较大, 非均质性严重。

d) 剩余油垂向上分布在各类韵律层的低渗层段中, 平面上剩余油分布在注水波及不到的死油区、断层边角和 ④类、⑤类流动单元中。提出 3 口井位及 804. 2m 潜力层。

参考文献:

- [1] 姚光庆, 等. 储层描述尺度与储层地质模型分级[J]. 石油实验地质, 1994, 16(4): 403.
- [2] 邱立伟. 人工神经网络技术在储层描述中的应用[J]. 石油实验地质, 1999, 21(2): 166.
- [3] 阳文生. 精细储层描述在荆丘油田调整挖潜中的初步实践[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 375.
- [4] 刘吉余, 王建东, 吕 靖. 流动单元特征及其成因分类[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 381– 383.

RESERVOIR CHARACTERIZATION OF DONG ④FORMATION, TANGJIAHE DEVELOPING AREA OF BEIDAGANG OILFIELD, HUANGHUA DEPRESSION

REN Bao-sheng, LU Feng-ming

(Research Centre, Dagang Oilfield, CNPC, Tianjin 300280, China)

Abstract: Aimed at the main contradictions in oilfield development and the geological problems remaining to be resolved in oilfield production, this article describes the reservoir characteristics of Dong ④formation, through high-distinguish sequence correlation, microstructure research, microfacies division, flow unit research, permeability parameter changes after water flooding, and numerical simulation, etc. Dong ④formation is vertically subdivided into 10 time-strata units and 25 individual sand bodies. Through the research on micropore structure, percolation screen and interconnection, pore structure and flow units are subdivided. Reservoir heterogeneity and changes of permeability parameters are also studied. Eventually, the distribution pattern of residual oil is put forward based on the research accomplishments. Effective adjusting project is made combined with production development, and has gained economic benefit in field testing.

Key words: pore structure; heterogeneity; percolation screen; flow unit; residual oil distribution