

小气顶低幅构造强底水油藏剩余油分布主控因素

党胜国, 权 勃, 闫建丽, 齐 鸿

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

摘要:曹妃甸油田群河流相底水油藏是渤海海域已开发的一类重要油藏类型,采用不规则水平井井网开发,目前大多数油藏已进入中、高含水阶段,但采收率偏低,亟需理清剩余油分布规律和主控因素,指导油田下步综合调整。曹妃甸油田群新近系馆Ⅲ油组下段储量大、开发井多,是一个已进入高含水开发期的小气顶低幅构造强底水油藏。通过静态地质资料和动态生产资料相结合,认为微构造形态和小断距断层等构造因素、河漫滩成因夹层、油水界面差异、油田早期开发理念、目前开发井网等5大因素控制了研究区剩余油分布。在以第2期夹层为界的上、下开发层系中,剩余油分布具有一定规律性。上开发层系剩余油主要分布在油环井网不完善区域,下开发层系剩余油主要分布在油藏西部的油水界面较低及井网不完善区域、中部的水平生产井和油气界面之间、第4期主力夹层下部构造高部位以及距开发井较远的断层附近。

关键词:小气顶 低幅构造 水平井井网 夹层分布 底水油藏 剩余油 主控因素 分布规律

中图分类号:TE341

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)01-0129-05

Main control factors of remaining oil in the oil reservoirs with small gas cap, low amplitude structure and strong bottom water

Dang Shengguo, Quan Bo, Yan Jianli, Qi Hong

(CNOOC China Ltd., Tianjin Branch, Tianjin City, 300452, China)

Abstract: The bottom water reservoir of fluvial facies in Caofeidian oilfields is a kind of important reservoir type in the Bohai sea, developed by irregular horizontal well pattern. Most of the oil reservoirs have entered into middle-high water cut stage with low recovery efficiency. It is urgent to research distribution law and main control factors of the remaining oil for guiding next overall adjustment. The lower member of Guan III (Ng III) oil formation in Caofeidian oilfields is a main development unit with massive OIP, many production wells, small gas cap and low amplitude structure at high water cut stage. By analysis of geological data and production data, five factors controlling the distribution of remaining oil in the study area were concluded as structure factor (micromorphology of structure, faults with small fault throw and so on), interlayer of fluvial flood-plain, difference of oil-water contact, early development policy and current production well pattern. Remaining oil distribution has some regularity in the upper and the lower development units separated by the second-period interlayer. Remaining oil in the upper unit mainly distributes in the area with imperfect well pattern of oil ring. Remaining oil in the lower unit distributes mainly in areas with lower oil-water contact and imperfect well pattern of western oil reservoir, in the central region between lateral section and gas-oil contact, in the structural high part under the fourth-period interlayer and in areas near faults far away from production well.

Key words: small gas cap; low amplitude structure; horizontal well pattern; interlayer distribution; bottom water reservoir; remaining oil; main control factors; distribution law

随着主力油藏进入高含水开发期,分析剩余油形成机理和表征剩余油分布规律成为当前研究的

收稿日期:2015-11-05。

作者简介:党胜国(1980—),男,陕西渭南人,工程师,硕士,从事油气田开发研究。联系电话:(022)25809486, E-mail:dangshg@cnoc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“海上油田丛式井网整体加密及综合调整技术”(2011ZX05024-002)。

热点和重点^[1-5]。曹妃甸油田群是渤海海域河流相底水油藏开发的案例库,底水油藏储量占其总地质储量的60%,自2004年投产以来大多数油藏已进入中、高含水阶段。馆Ⅲ油组下段水平井井网开发的小气顶低幅构造强底水油藏是曹妃甸油田群的典型代表。从静态地质资料分析入手,结合油田8年来开发生产动态资料,对高含水开发期油藏剩余油的主控因素和分布规律进行研究,以为渤海海域或中外类似油藏的开发、挖潜调整提供借鉴和指导。

1 地质概况

曹妃甸油田群新近系馆Ⅲ油组下段油藏位于渤海湾盆地埕宁隆起区沙垒田凸起东块东部,是中、美油公司合作开发的大型亿吨级油田的主力开发油藏,发育小气顶,气顶指数为0.04;构造幅度低,最大圈闭幅度为40 m;呈北东向展布;是由一组雁行排列、近东西向分布的正断层切割而成的背斜构造底水油藏。油层主要分布在厚层辫状河储层顶部,平均孔隙度为26%,平均渗透率为 $570 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均砂地比为83%,油水体积比大于1:550,最大油柱高度为22 m,地层原油粘度为 $4.3 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。储层横向分布稳定,连片性好,垂向多期河道叠置,夹层发育。油水界面受水动力影响,西低东高,落差为14 m。自2006年投产,已有油井21口,利用天然底水能量、采用不规则井网、大规模水平生产井进行开发,至2014年10月底采出程度为15%,综合含水率为90%。

2 剩余油分布主控因素

2.1 构造因素

2.1.1 微构造形态

沙垒田凸起是渤海海域遭受剥蚀时间最长的凸起之一,自古生代以来,长期处于继承性抬升状态,至古近纪晚期开始下沉,在凸起边缘地带接受东营组三角洲相沉积。东营组沉积后期,凸起中心一度抬升成陆,至新近纪整体沉降,大面积接受馆陶组和明化镇组河流相沉积。经历了长达数十亿年的准平原化过程,沉积的新近系地层构造平缓、幅度低。受基底古地貌影响,馆Ⅲ油组下段油藏微构造类型丰富多样,主要发育微穹窿、微背斜、微半背斜等正向微构造,微鞍状、微斜面、微鼻状等过渡

型微构造和微沟槽、微漏斗、微半向斜等负向微构造(图1),对剩余油分布起到很好的控制作用^[6-8]。

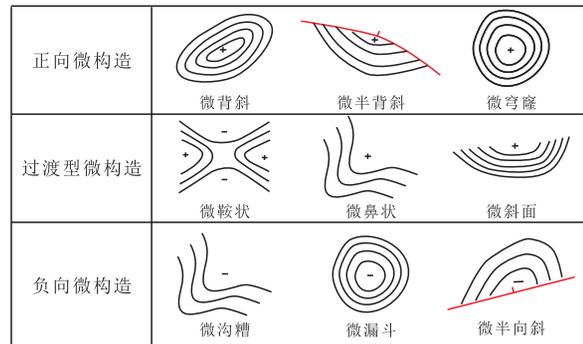


图1 微构造类型

Fig.1 Microstructure type

综合分析微构造类型与剩余储量丰度分布和水平生产井生产动态响应的关系表明,正向微构造区域水平段避水高度大,水平生产井平均有2~3个月的无水采油期,辫状河储层平面、纵向多期叠置,部分井区夹层发育,含水率上升缓慢,经过近8 a的生产,目前已处于高含水阶段。同时构造高部位油柱高度大,储量丰度高,剩余油富集。

过渡型微构造区域水平段避水高度较低,部分井区夹层遮挡作用减弱,含水率上升速度较快,目前大部分水平生产井已处于高含水阶段。由于过渡型微构造区域水平生产井较少,因此未布井区域剩余油较富集。

负向微构造区域水平段避水高度低,随着生产造成的水平段底部压力下降,底水锥进速度快,水平生产井常发生暴性水淹,寿命短。D6H井位于馆Ⅲ油组下段油藏北东部微沟槽,生产1 a含水率高达90%以上,不到2 a就因高含水而侧钻。

因此低幅构造底水油藏正向微构造和过渡型微构造未布井区域是剩余油的主要富集区。

2.1.2 小断距断层

新近纪以来,右旋走滑作用改造了研究区明化镇组和馆陶组地层,整个沙垒田凸起发育一系列呈雁行排列、近东西向展布、以南掉为主的正断层,断裂发育,但断距较小,以10~20 m为主,基本不分割厚层底水油藏油水系统。初期大部分水平生产井距断层大于200 m,依靠天然底水能量开发的方式导致断层附近剩余油无法驱替,因此断层附近是剩余油的富集区。

2.2 河漫滩成因夹层

研究区馆陶组辫状河沉积表现为大套巨厚的砂岩、砂砾岩储层夹薄层泥岩,呈现“砂包泥”沉积特征,多期河道砂体垂向加积,砂岩含量高于80%,

产井井距大于600 m,这些部位剩余油富集,并已得到加密调整井的验证。D27H和D33H井是2011年实施的井间加密调整井,实施前邻井D15H和D18H井含水率分别为88%和90%,这2口调整井投产初期含水率分别仅为4%和13%,截至2014年底含水率分别为84%和58%,累积产油量分别为 10.8×10^4 和 10.4×10^4 m³。

3 剩余油分布规律

数值模拟得到剩余石油地质储量丰度分布(图3),对构造因素、河漫滩成因夹层、油水界面差异、油田早期开发理念、目前开发井网5个地质和开发主控因素的研究成果进行了相互验证,认为水平井井网开发小气顶低幅构造强底水油藏剩余油在平面上和纵向上呈规律性分布。整体来看,剩余油主要分布在油层厚度大、油水界面较低、井网控制程度低的油藏中西部和东翼,避水高度较大的正向微构造和过渡型微构造未布井区域以及距离开发井较远的断层附近。以第2期夹层为界,上开发层系剩余油主要分布在油环井网不完善区域;下开发层系剩余油主要分布在西部油水界面较低和井网不完善区域、中部水平生产井和气油界面之间、第4期主力夹层下部构造高部位、正向微构造和过渡型微构造未布井区域和距离开发井较远的断层附近。

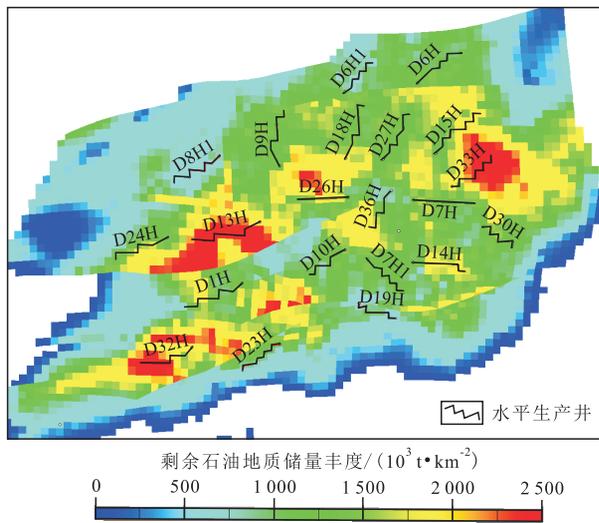


图3 剩余石油地质储量丰度分布

Fig.3 Remaining OIP abundance distribution

根据剩余油主控因素和分布规律,创新性提出了高含水期水平井井网开发小气顶低幅构造强底水油藏剩余油挖潜策略,并完成了整体调整方案,即①坚持水平井井网开发和利用第2期主力夹层分2套层系开发的调整思路;②整体部署调整井,水平

段尽量靠近正向微构造、过渡型微构造和气顶。研究区馆Ⅲ油组下段油藏整体部署调整井23口,预测提高采收率14%,累积增油量约为 400×10^4 m³。

4 结论

通过静态地质资料和动态生产资料相结合,在曹妃甸油田群首次深入剖析了水平井井网开发小气顶低幅构造强底水油藏高含水开发期剩余油分布的控制因素,包括微构造形态、小断距断层、河漫滩成因夹层、油水界面差异、油田早期开发理念、目前开发井网等地质和开发因素。

通过总结主控因素控制下的剩余油分布规律,创新性提出了合理利用第2和第4期较稳定分布的主力夹层、利用水平生产井开发井网,分上、下2套层系开发、挖潜河流相强底水油藏剩余油的调整思路。研究成果为渤海海域河流相储层隔夹层发育的强底水油藏高含水期剩余油分析及后期挖潜调整思路提供了借鉴和指导。

参考文献:

- [1] 侯健,罗福全,李振泉,等.岩心微观与油藏宏观剩余油临界描述尺度研究[J].油气地质与采收率,2014,21(6):95-98.
Hou Jian, Luo Fuquan, Li Zhenquan, et al. The critical description scale study on core microscopic and reservoir macroscopic remaining oil [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 95-98.
- [2] 严科.三角洲前缘储层特高含水后期剩余油分布特征[J].特种油气藏,2014,21(5):20-23.
Yan Ke. Residual oil distribution features in delta front reservoir during late period of super-high water content [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(5): 20-23.
- [3] 黄石岩.河流和三角洲储层剩余油分布模式——以渤海湾盆地胜坨油田为例[J].石油实验地质,2007,29(2):167-171.
Huang Shiyao. Distribution mode of remaining oil of fluvial and delta reservoir-taking the Shengtuo Oilfield of the Bohai Bay Basin as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(2): 167-171.
- [4] 薛永超,程林松,梁卫,等.底水油藏特高含水期剩余油模式及开发对策[J].大庆石油地质与开发,2011,30(3):74-78.
Xue Yongchao, Cheng Linsong, Liang Wei, et al. Remained oil patterns for reservoir with bottom water at high water-cut stage and development policy [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2011, 30(3): 74-78.
- [5] 高建,侯加根,林承焰,等.特低渗透砂岩油藏剩余油分布的主控因素及有利区块评价[J].中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(1):13-18.
Gao Jian, Hou Jiagen, Lin Chengyan, et al. Key factors of remaining oil distribution of the lowest permeable sandstone reservoir

- and favorable area evaluation [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2007, 31(1): 13-18.
- [6] 李兴国. 陆相储层沉积微相与微型构造 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- Li Xingguo. Sedimentary microfacies and mini-structure of continental reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [7] 李兴国. 油层微型构造对油井生产的控制作用——以胜坨、孤岛油田为例 [J]. 石油勘探与开发, 1987, 14(2): 53-59.
- Li Xingguo. Effect of mini-structure in a reservoir on well productivity [J]. Petroleum Exploration and Development, 1987, 14(2): 53-59.
- [8] 侯建国, 高建, 张志龙, 等. 五号桩油田桩74断块特低渗砂岩油藏微构造模式及其开发特征 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(3): 1-5.
- Hou Jianguo, Gao Jian, Zhang Zhilong, et al. Microstructure mode and development character of the lowest permeable sand stone reservoir of Zhuang74 fault block in Wuhaozhuang Oilfield [J]. Journal of University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 2005, 29(3): 1-5.
- [9] 朱德顺, 王勇, 朱德燕, 等. 渤南洼陷沙一段夹层型页岩油界定标准及富集主控因素 [J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(5): 15-20.
- Zhu Deshun, Wang Yong, Zhu Deyan, et al. Analysis on recognition criteria and enrichment factors of interlayer shale oil of Es₁ in Bonan subsag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 15-20.
- [10] 杨勇, 胡罡, 田选华. 水驱油藏剩余油再富集成藏机理 [J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(4): 79-86.
- Yang Yong, Hu Gang, Tian Xuanhua. Reservoir forming mechanism of remaining oil re-enrichment in water flooding reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(4): 79-86.
- [11] 束青林. 孤岛油田馆陶组河流相储层隔夹层成因研究 [J]. 石油学报, 2006, 27(3): 100-103.
- Shu Qinglin. Interlayer characterization of fluvial reservoir in Guantao Formation of Gudao Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 100-103.
- [12] 屈亚光, 丁祖鹏, 潘彩霞, 等. 厚油层层内夹层分布对水驱效果影响的物理实验研究 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 105-107, 110.
- Qu Yaguang, Ding Zupeng, Pan Caixia, et al. Physical experiment on distribution of interlayers impact on water flooding recovery efficiency [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 105-107, 110.
- [13] 刘建民, 徐守余. 河流相储层沉积模式及对剩余油分布的控制 [J]. 石油学报, 2003, 24(1): 58-62.
- Liu Jianmin, Xu Shouyu. Reservoir sedimentary model of fluvial facies and its control to remaining oil distribution [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(1): 58-62.
- [14] 党胜国, 冯鑫, 闫建丽, 等. 夹层研究在水平井开发厚层底水油藏中的应用——以曹妃甸11-6油田 Massive 砂体为例 [J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(1): 63-67.
- Dang Shengguo, Feng Xin, Yan Jianli, et al. Interlayer research application in horizontal well development of thick bottom water reservoir—a case of Massive sand in Caofeidian11-6 oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(1): 63-67.
- [15] 郝雪峰, 尹丽娟. 油藏类型与属性的动力学涵义 [J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(2): 1-4.
- Hao Xuefeng, Yin Lijuan. Discussion on dynamic implications of oil reservoir type and property [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(2): 1-4.

编辑 刘北羿

欢迎订阅 2016 年《石油钻探技术》

《石油钻探技术》创刊于 1973 年, 由中国石油化工集团公司主管、中国石化集团石油工程技术研究院主办, 是全国中文核心期刊和历年中国科技论文统计源刊, 被中国科学引文数据库 (CSCD)、美国《石油文摘》与《化学文摘》、《中国石油文摘》和《中国地质文摘》等大量摘录。本刊主要报道国内石油工程 (包括钻井、钻井液、固井、测井、录井、完井、开采等专业) 以及钻采机械设备与自动化方面的科技进步和现场经验, 适当介绍国外石油工程技术发展的水平和动向。本刊主要栏目为: 专家视点、学术争鸣、钻井完井、测井录井、油气开采、钻采机械、现场交流。适合于石油、海洋、地矿行业广大石油工程技术人员、高等院校师生和经营管理者阅读。

本刊为双月刊, 大十六开版本, 逢单月末出版。2016 年每期定价 30 元 (含邮寄费), 全年 6 期共 180 元。

1. 银行汇款: 工行北京市海淀区支行, 账号 0200049629200702219, 户名“中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院”, 开户行代码: 102100004960, 并注明“期刊”字样。

2. 邮局汇款: 北京市朝阳区北辰东路 8 号北辰时代大厦 716 室, 邮编 100101, 收款人: 刘文臣, 电话: 010-84988356, 84988317 传真: 010-84988289, <http://www.syzt.com.cn>, E-mail: syzt@vip.163.com。