

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

党胜国,冯鑫,闫建丽,秦润森,汪巍

(中海石油(中国)天津分公司 渤海石油研究院,天津 300452)

摘要:渤海海域曹妃甸油田群油藏类型主要为河流相底水油藏,全部采用水平井开发,储层内部不稳定分布的夹层是影响底水油藏开发效果最关键的因素,厘清夹层的分布模式及其对底水的控制规律对底水油藏开发非常重要。以曹妃甸11-6油田 Massive 砂体为例,通过钻穿含油储层的少量探井、水平井的领眼井等进行小层精细对比,确定了夹层空间分布的总体框架,利用水平井含水率上升规律、供液能力和地层压力等生产动态特征与夹层的响应规律,建立厚层辫状河储层的夹层分布模式,分析了夹层分布模式对底水运动规律的控制作用。研究结果表明,Massive 砂体纵向上主要发育2期主力夹层,部分水平井同时受2期主力夹层的共同遮挡,并根据夹层对底水的遮挡能力,划分为强遮挡、中遮挡和无遮挡3类。指导了中、高含水期剩余油分布研究和调整策略,部署调整井23口,平均单井累积增油量为 17×10^4 t。

关键词:厚层底水油藏 水平生产井 夹层 小层对比 曹妃甸油田

中图分类号:TE112.24

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)01-0063-05

Interlayer research application in horizontal well development of thick bottom water reservoir—a case of Massive sand in Caofeidian11-6 oilfield

Dang Shengguo, Feng Xin, Yan Jianli, Qin Runsen, Wang Wei

(Bohai Petroleum Research Institute, CNOOC(China) Tianjin Branch, Tianjin City, 300452, China)

Abstract: Bottom water reservoir is the main reservoir type in the Caofeidian oilfield characterized by fluvial facies in Bohai Bay. It is developed by large-scale horizontal wells. Discontinuous interlayer distribution in the reservoir is the key factor that affects development of the bottom water reservoir. So it is very important to study the interlayer distribution and its controlling effect on the bottom water. Taking Massive sand in Caofeidian11-6 oilfield as an example, 3D framework of the interlayer distribution was obtained through fine correlation of layers in the appraisal wells and pilot wells that penetrating into oil-bearing reservoirs. The interlayer distribution pattern in thick braided river reservoir was established according to the relationship between interlayer and production performance response of water cut rise, fluid production capability, formation pressure etc. And the control of the pattern on the bottom water movement was analyzed. The research suggests that two main phases of interlayers developed in the Massive sand longitudinally block some of the horizontal wells simultaneously. According to the bottom water blocking ability, the interlayers are divided into three classes: strong barrier, middle barrier and no barrier. This method guides the study of remaining oil distribution and adjustment strategy of the bottom water reservoir in middle-high water cut periods. Finally, 23 adjustment wells have been deployed and the average incremental oil for single well is 17×10^4 t.

Key words: thick bottom water reservoir; horizontal well; interlayer layer; layer correlation; Caofeidian oilfield

夹层是指在储层内部局部发育、不连续分布的均质性的主要原因,主要受原始沉积作用过程和后期非渗透层或特低渗透层,是造成储层平面和纵向非均质性的主要原因,主要受原始沉积作用过程和后期成岩作用控制形成^[1-6]。渤海海域新近系馆陶组

收稿日期:2014-11-17。

作者简介:党胜国(1980—),男,陕西渭南人,工程师,硕士,从事油田开发地质工作。联系电话:(022)25809486, E-mail: dangshg@cnooc.com.cn。

辫状河储层作为重要的陆相碎屑岩储层,由于多期辫状河道、心滩坝相互叠置,沉积厚度巨大,垂向上不同位置发育厚度、横向延伸不等的泥质夹层。夹层分布随机性强,夹层分布规律的厘清一直是影响油田开发生产的世界性难题。通过曹妃甸11-6油田 Massive 砂体小层精细对比和水平井生产动态资料相结合,厘清厚层底水油藏夹层的纵向发育期次和平面分布模式及底水的控制作用^[4-12],对研究中、高含水期底水油藏剩余油分布,确定其调整策略,制定总体调整方案,及提高海上平台、管线等设施经济年限内的利用效率,具有十分重要的意义。

1 厚层底水油藏概况

曹妃甸11-6油田 Massive 砂体位于渤海湾盆地埕宁隆起区沙垒田凸起东块东部,平均水深为22.5~28 m,是中外多方合作开发的大型亿吨级油田,也是渤海海域首次全部采用大规模水平井开发且以单个油藏作为开发层系的油田。该油田的主力砂体 Massive 砂体位于馆陶组3油组下段,为发育小气顶的厚层块状辫状河沉积底水油藏,含油气面积为14.35 km²。储层为巨厚辫状河沉积,横向分布稳定,连片性好,厚度巨大,含砂率高,平均地层厚度为474 m,平均储层厚度为395 m,平均砂地比为83%。含油气层主要发育于储层顶部的30~40 m处,纵向上发育多期夹层,油水体积比大于1:550。该砂体全部采用水平井天然能量开发,截至2014年6月底21口水平井采出程度为14.6%,综合含水率为87%,数值模拟预测油藏最终采收率为25.2%。该油藏单井控制石油地质储量大,综合含水率高,但是采收率低,剩余油富集,需进行开发调整。

曹妃甸11-6油田 Massive 砂体开发调整时存在

3个问题:①其海拔为-1 475~-1 400 m,三维地震资料采集品质较差,现有的常规地震资料和波阻抗反演资料仅能分辨8 m以上的夹层;②辫状河沉积模式决定了储层砂地比高达74%~89%,呈砂包泥特征,且夹层厚度多小于5 m;③砂体钻穿油层的探井和领眼井仅10口,剩余21口水平井均未钻穿储层。地震资料无法分辨夹层,且钻穿井少,单纯依据井间对比研究夹层分布模式,难度较大。

研究区自2006年投产以来,获取21口水平井生产动态资料,且与夹层分布有很好的响应关系。通过分析水平井含水率上升规律、供液能力和地层压力等,加强对夹层分布模式的认识。

2 夹层的空间分布及类型划分

2.1 小层对比确定夹层空间分布

小层对比显示:Massive 砂体含油气范围内共发育4期夹层,第1期和第3期夹层分布范围小,厚度薄;第2期和第4期夹层分布范围广,厚度大,能有效延缓水平井的底水锥进速度,且中低含水期生产时间较长,延长了油井寿命,提高了开发效益,是 Massive 砂体的主力夹层(图1)。

砂体顶部的第1期夹层和油气层中部的第3期夹层随机分布,仅有部分井钻遇,分布范围小于500 m,且第1期夹层三分之一的面积位于气顶区,70%以上钻遇厚度小于1.5 m。这2期夹层主要影响水平井水平段的储层钻遇率和非均质性,对油井的产能影响较小,基本不抑制底水锥进,是 Massive 砂体的次要夹层。

第2期夹层发育于储层顶面以下10 m左右,钻遇24口油井,生产平台中心区域和砂体南部厚度较大,大于1 m;砂体西部、北部和南部厚度减薄,

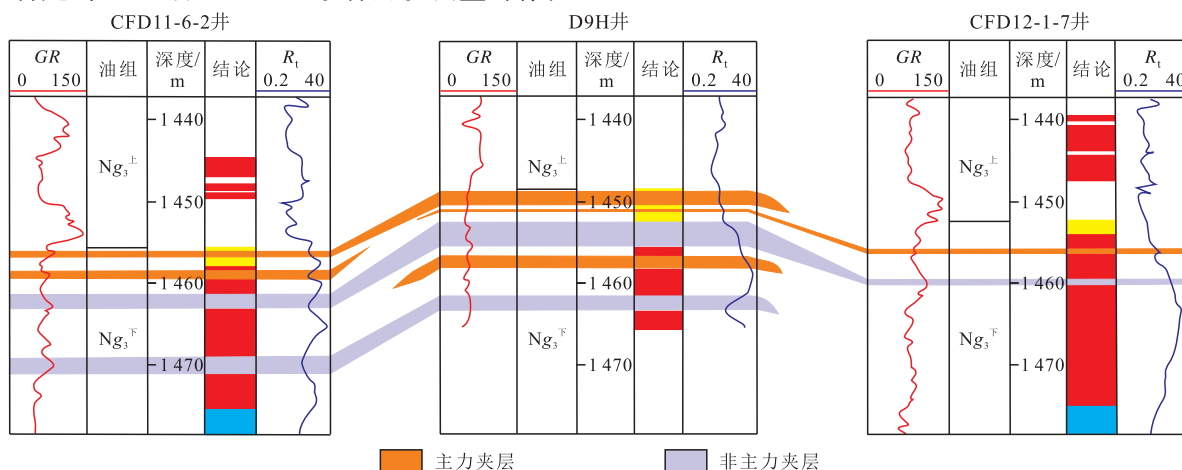


图1 Massive 砂体夹层连井剖面

Fig.1 Well-tied profile showing the interlayers in the Massive sand

小于1 m。夹层发育方向自北西向东南,与馆陶组沉积时期的古流向一致。有7口水平井位于该期夹层之上。第4期夹层位于储层顶面以下20 m左右,仅钻遇7口油井,主要分布于生产平台附近和砂体南部,钻遇油层厚度为0.4~5.2 m。有11口水平井位于第2和第4期主力夹层间含油气中心部位。

2.2 生产动态响应划分夹层类型

参照水平井含水率上升规律,结合历年地层压力测试资料、油井供液能力以及水平井段避水高度等生产动态响应,对夹层的遮挡能力进行综合评估(表1)。根据夹层对底水的遮挡能力,将其划分为强遮挡、中遮挡和无遮挡3类,其中强遮挡型夹层有7口水平井钻遇,中遮挡型夹层有8口水平井钻遇,无遮挡型夹层有6口水平井钻遇。生产动态响应资料显示,70%的水平井井段底部发育夹层。

钻遇强遮挡型夹层水平井主要分布在生产平台的西南部和东南部以及D8H1井区。通过分析含水率上升规律可知,低含水期生产时间一般大于1 a,其中D14H井为1 059 d;中含水期一般大于500 d;分析供液能力可知,大部分油井生产2 a以上开始出现供液能力不足现象,部分井区地层压力下降

1~2 MPa。结合水平井段位置和纵向夹层钻遇情况分析认为,强遮挡型水平井段所处位置均发育2期主力夹层,D8H1,D1H,D30H和D32H井受第2和第4期夹层的共同遮挡,D14H,D10H和D33H井位于第2期夹层下,主要受第4期夹层遮挡,且这几口井附近的D7H和CFD11-6-1井钻遇第4期夹层厚度为5.2 m,延伸范围广,延缓底水锥进速度效果明显。强遮挡型水平井夹层遮挡作用较强,抑制能量供给,导致生产后期产液量、产油量、地层压力均下降。

钻遇中遮挡型夹层水平井主要分布在生产平台和CFD12-1-7井的东北部和西部。由含水率上升规律分析可知,低含水期生产时间为103~224 d,中含水期为70~513 d,中高含水期一般大于500 d,其中D18H和D19H井为1 100 d以上,供液能力充足,地层压力保持稳定。结合水平井段位置和纵向夹层钻遇情况分析认为,中遮挡型水平井主要受第4期夹层的遮挡。D23H和D19H井位于砂体南部,构造位置相对较低,第2期夹层抑制底水锥进;其余D7H1,D13H,D18H,D27H,D26H和D36H井位于第2期夹层之下,主要受第4期夹层的遮挡,附近的

表1 Massive砂体夹层生产动态响应分析
Table1 Analysis on production performance response in the Massive sand

井名	各含水期实际生产时间/d				含水率 上升 速度	供液 能力	压力 状况	避水高 度/m	夹层遮 挡能力	水平井 段位置	遮挡底水的 主力夹层
	低含 水期	中含 水期	中高 含水期	高含 水期							
D8H1	687	1 447			缓慢	后期下降	下降	7.9	强	2期上	第2和第4期
D14H	1 059	586	83		缓慢	后期下降	下降	12.7	强	2,4期之间	第4期
D1H	593	1 008			缓慢	后期下降	稳定	10.8	强	2期上	第2和第4期
D10H	308	1 092	805		缓慢	后期下降	稳定	8.8	强	2,4期之间	第4期
D30H	570	324			缓慢	后期下降	稳定	14.1	强	2期上	第2和第4期
D33H	319	528	11		缓慢	充足	稳定	16.8	强	2,4期之间	第4期
D32H	744	112			缓慢	充足	稳定	13.3	强	2期上	第2和第4期
D7H1	153	126	458	544	中等	充足	稳定	10.8	中	2,4期之间	第4期
D23H	195	143	795	490	中等	充足	稳定	13.6	中	2期上	第2期
D18H	125	260	1 147	755	中等	充足	稳定	10.3	中	2,4期之间	第4期
D27H	138	139	692		中等	充足	稳定	15.6	中	2,4期之间	第4期
D26H	182	223	511		中等	充足	稳定	11.1	中	2,4期之间	第4期
D13H	167	513	540	402	中等	充足	稳定	10.5	中	2,4期之间	第4期
D19H	224	215	1 117	717	中等	充足	稳定	12.3	中	2期上	第2期
D36H	103	70	644		中等	充足	稳定	3.7	中	2,4期之间	第4期
D6H	13	30	281	320	快速	充足	稳定	8.6	无	2期下,4期不发育	
D6H1	39	166	412	769	快速	充足	稳定	11.1	无	2期上	
D15H	125	101	389	1 172	快速	充足	稳定	12.3	无	2期下,4期不发育	
D24H	60	92	962	505	快速	充足	稳定	11.5	无	2期下,4期不发育	
D7H	41	30	330	617	快速	充足	稳定	7.0	无	4期下	
D9H	67	70	494	269	快速	充足	稳定	7.0	无	4期下	

层间剩余油主要分布在井网距离较大的井间,挖潜措施以加密井网为主。

综合考虑夹层分布^[8]、剩余油分布特征^[9]和夹层间储量分布频率,制定了 Massive 砂体中、高含水期的调整方案。在第2期夹层之上部署调整井13口,主要位于砂体东南部、西部和北部井网欠完善、剩余油富集的构造低部位;在第2期和第4期夹层间部署井间加密调整井10口,主要位于井距较大和含水率较低的井间以及 D9H 井附近。数值模拟方法预测 Massive 砂体最终采收率为 39.6%,平均单井累积增油量约为 17×10^4 t。

4 结束语

通过小层精细对比确定夹层空间分布总体框架,结合水平井含水率上升规律、供液能力和地层压力等生产动态资料与主力夹层的响应规律,明确了主力期次夹层分布模式。根据主力夹层的分布模式和水平井的动态响应规律,厘清了主力夹层对底水运动规律的控制作用。拓展了动、静态资料相结合的夹层研究,建议合理利用夹层分布,做好中、高含水率期厚层底水油藏的剩余油挖潜和调整。

参考文献:

- [1] 张金亮,谢俊.油田开发地质学[M].北京:石油工业出版社,2011.
Zhang Jinliang, Xie Jun. Petroleum development geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- [2] 柳成志,张雁,单敬福.砂岩储层隔夹层的形成机理及分布特征——以萨中地区 P I 2 小层曲流河河道砂岩为例[J].天然气工业,2006,26(7):15-17.
Liu Chengzhi, Zhang Yan, Shan Jingfu. Genetic mechanism and distribution features of barriers and baffles in sandstone reservoir [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(7): 15-17.
- [3] 袁新涛,吴向红,张新征,等.苏丹 Fula 油田辫状河储层内夹层沉积成因及井间预测[J].中国石油大学学报:自然科学版,2013,37(1):8-12.
Yuan Xintao, Wu Xianghong, Zhang Xinzhen, et al. Sedimentary origin and interwell prediction of interbeds in braided river reservoir, Fula Oilfield in Sudan [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2013, 37(1): 8-12.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 谢俊,张金亮,梁会珍,等.濮城油田末端扇储层隔夹层成因及分布特征[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2008,38(4):653-656,688.
Xie Jun, Zhang Jinliang, Liang Huizhen, et al. Genesis and distribution characteristics of interbeds in the terminal fan of Pucheng Oilfield [J]. Periodical of Ocean University of China: Edition of Natural Science, 2008, 38(4): 653-656, 688.
- [7] 薛永超,梁卫,耿传林.夹层对底水油藏油水运动规律的控制作用[J].西安石油大学学报:自然科学版,2011,26(1):14-17.
Xue Yongchao, Liang Wei, Geng Chuanlin. Control effect of interlayers on the migration of oil and water in bottom-water reservoirs [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2011, 26(1): 14-17.
- [8] 陈程,孙义梅.厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响[J].大庆石油地质与开发,2003,22(2):24-27.
Chen Cheng, Sun Yimei. The distribution patterns of the interlayers within thick pays and their impact on recovery efficiency, Shuanghe oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2003, 22(2): 24-27.
- [9] 王步娥.盘40断块馆三段7砂组边底水油藏剩余油研究及水平井调整挖潜[J].石油天然气学报,2008,30(5):137-139.
Wang Bue. On the tapping the potential by using horizontal wells in Ng₃₇ reservoir with edge and bottom water [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(5): 137-139.
- [10] 饶良玉,吴向红,李香玲,等.夹层对不同韵律底水油藏开发效果的影响机理[J].油气地质与采收率,2013,20(1):96-99.
Rao Liangyu, Wu Xianghong, Li Xiangling, et al. Mechanism study on effect of inter-bed on development performance of different rhythm bottom-water reservoir-taking Sudan H oilfield as example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(1): 96-99.
- [11] 房士然.夹层对优势通道形成与演化的影响[J].油气地质与采收率,2010,17(1):90-92.
Fang Shiran. Influence of interlayer on the generation and evolution of high permeability channels [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(1): 90-92.
- [12] 兰丽凤,平晓琳,白振强,等.基于小井距检查井的夹层分布特征及对剩余油分布的控制作用——以萨尔图油田北二西区为例[J].油气地质与采收率,2013,20(4):83-87.
Lan Lifeng, Ping Xiaolin, Bai Zhenqiang, et al. Study on distribution characteristics of intra-formational bed based on dense inspection wells group—a case of Beierni district of Sartu oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(4): 83-87.