

海上边际油田延长测试技术

岳宝林,刘斌,石洪福,解婷,刘子威

中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300459

通讯作者:Email:yuebl@cnooc.com.cn

项目支持:国家重大科技专项“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058001)

引用:岳宝林,刘斌,石洪福,等.海上边际油田延长测试技术[J].油气井测试,2021,30(2):74-78.

Cite: YUE Baolin, LIU Bin, SHI Hongfu, et al. Extended testing technology for offshore marginal oilfield [J]. Well Testing, 2021,30(2):74-78.

摘要 海上油田勘探评价井生产测试时间受投资成本与用海期限影响(一般测试6~12 h),测试时间短,动态资料可信程度低。渤海油田某自升式延长测试平台采用“延长测试平台+延长测试井口+外输油轮”的方案,可进行长周期的生产测试。渤海X边际油田岩性复杂,开发风险大,应用该平台对沙河街组潜山油藏开展了延长测试作业,获取了180 d的液量、油量、含水、流压、压力恢复等动态监测资料。应用数值模拟、物质平衡法、试井研究,重新认识了该油藏储量规模、水体倍数、单井动用储量、储层连通性、单井产能等信息,进一步量化了开发风险,对油田开发方案的编制具有良好的指导作用。

关键词 渤海油田;边际油田;延长测试国;风险评估;潜山油藏;生屑云岩;动态监测

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.02.014

Extended testing technology for offshore marginal oilfield

YUE Baolin, LIU Bin, SHI Hongfu, XIE Ting, LIU Ziwei

Tianjin Branch, CNOOC (China) Limited, Tianjin 300459, China

Abstract: The reliability of dynamic data of exploration evaluation well in offshore oilfield is low because the production test time is short due to the influence of investment cost and sea use period (generally 6~12 h). A jack up extended test platform in Bohai oilfield adopts the scheme of “extended test platform + extended test wellhead + export tanker”, which can carry out long-term production test. The lithology of Bohai X marginal oilfield is complex and the development risk is high. The platform was used to carry out extended testing operation for buried hill reservoir of Shahejie formation, and the dynamic monitoring data of liquid volume, oil volume, water cut, flow pressure and pressure build-up for 180 days were obtained. With the application of numerical simulation, material balance method and well test research, the reservoir reserves scale, water multiple, single well production reserves, reservoir connectivity, single well productivity and other information are re-recognized, and the development risk is further quantified, which has a good guiding role for the preparation of oilfield development plan.

Keywords: Bohai oilfield; marginal oilfield; extended testing; risk assessment; buried hill reservoir; bioclastic dolomite; dynamic monitoring

海上油田开发方案一般基于勘探评价井的钻杆测试结果完成动态研究,受勘探成本与用海期限影响,勘探评价井生产测试时间短(6~12 h)^[1-3],容易出现测试时间短,测试结果可信程度低的问题^[4-5]。基于此的油藏方案虽然充分考虑了开发风险,但受资料所限依旧存在油田投产后由于实际地质情况变差,油田开发效果低于预期,产量无法覆盖油田的生产操作成本,导致暂停生产或经济边缘生产的情况^[6-8]。为进一步规避油田开发投资风险,渤海油田投建了某自升式延长测试平台,通过该平台针对边际油田进行延长测试作业。

渤海X油田地质油藏条件复杂,该油田沙河街组生屑云岩储层分布(储层厚度、储量规模、储层连通性)及潜山水体、裂缝发育(裂缝沟通底水程度)存在不确定性,对于总体开发方案风险量化研究影响较大^[9-10]。选取该油田部署实施2口开发评价井进行了延长测试作业,通过获取的更全面的动、静态地质油藏数据资料,量化了油藏风险,指导完善了后续总体开发方案编制。

1 X油田简介

X油田位于渤海西部海域,油田储层包括下古

生界奥陶系潜山碳酸盐岩储层和新生界古近系沙河街组沙一段生屑云岩储层两套储集体。两套储层上下叠置,目前认为沙河街组和潜山油藏相通,

具有统一的油水界面(图1)。潜山为块状底水油藏,沙河街组沿不整合面呈层状分布,为受构造控制的岩性-构造油藏。油藏埋深3 250~3 464 m^[11]。

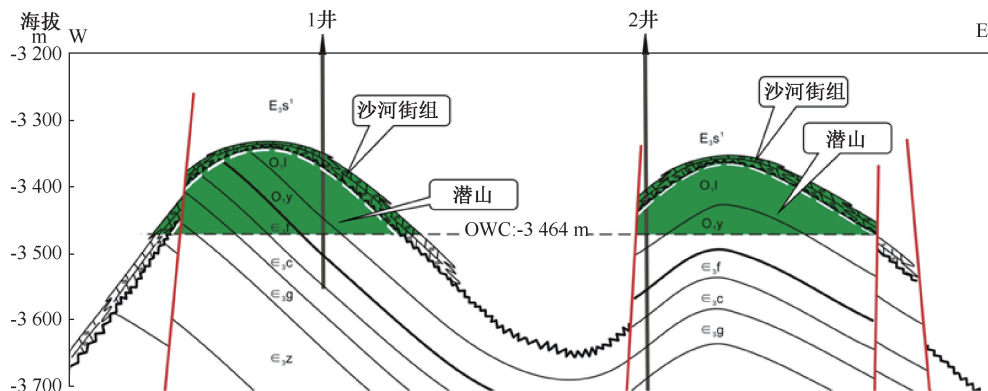


图1 渤海X油田油藏剖面图
Fig. 1 Reservoir profile of Bohai X Oilfield

1.1 储层特征

沙河街组储层岩性以生屑云岩为主,储集空间以孔隙为主,包括粒间孔、粒内孔、粒间溶孔、粒内溶孔,另外,在薄片观察中偶见构造缝、构-溶缝、溶蚀缝、压溶缝等。测井分析孔隙度分布范围为17.4%~24.9%,渗透率分布范围为20.1~73.6 mD。

奥陶系碳酸盐岩为海相沉积,岩性为泥-粉晶白云岩。储集空间主要包括孔隙、溶洞、裂缝3种基本类型,储层显示出具有双重介质结构和较强的非均质性。测井分析孔隙度分布范围为1.4%~17.0%,渗透率分布范围0.01~49.30 mD。

1.2 流体特征

沙河街组储层岩沙河街组地面原油密度为0.869~0.875 t/m³,地面黏度为21.50~21.80 mPa·s,地层黏度为0.63 mPa·s;溶解气油比110 m³/m³。

奥陶系潜山地面原油密度0.854~0.876 t/m³,地面原油黏度18.14~18.86 mPa·s,地层黏度为1.62 mPa·s,溶解气油比95 m³/m³。

1.3 油藏特征

沙河街组与古生界潜山两套储层上下叠置,沙河街组和潜山油藏相通,具有统一的油水界面。潜山为块状底水油藏,沙河街组沿不整合面呈层状分布,为受构造控制的岩性-构造油藏。油藏埋深3 250~3 464 m。

1.4 开发风险

(1)沙河街组是该油田主要开发层系,通过储层展布特征研究,确定生屑云岩储层向古隆起高部位厚度逐渐减薄,储量规模存在风险;且该油田沙河街组沉积时受潜山形态影响,古地貌起伏高差较

大,影响储层横向分布的稳定性,储层连通性存在不确定性^[12]。

(2)潜山储层与沙河街储层之间发育一套低渗层,如果该低渗层分布不稳定,潜山水体可能沟通到沙河街储层,沙河街开发存在见水风险^[13]。

针对该油田开发所存在的风险,提出在整体开发方案实施前,先实施2口开发评价井并进行延长测试的方案。落实沙河街组储量规模、储层连通性、潜山水体能量等风险^[14-15],再根据实际情况深入开展整体开发方案研究。

2 延长测试作业方案

延长测试作用采用“延长测试平台+延长测试井口+外输油轮”的方案。延长测试无新建工程设施,通过延长测试平台上的各接口直接与采油树上的阀门管线及电缆相连接,测试液处理成合格原油后进入平台储油舱,通过穿梭油轮海上直接销售,覆盖作业成本,生产水转运至码头处理(图2)。

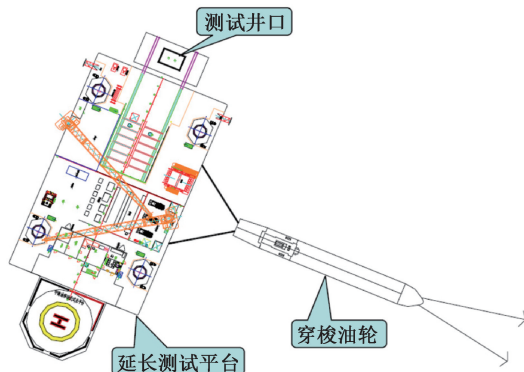


图2 延长测试作业示意图
Fig. 2 Extended test operation diagram

2.1 延长测试平台主要设备能力

石油设备液体处理能力 1 000 m³/d,原油处理能力 800 m³/d,水处理能力 500 m³/d,天然气处理能力 20×10⁴ m³/d,储油舱能力 3 055 m³(油舱 2 545 m³+污油水舱 510 m³)。

2.2 延长测试井口方案

在延长测试阶段,如果钻遇沙河街储层厚度具备整体开发的储量基础。通过测试井,落实油藏风险,如果存在风险,则进入成本回收模式,反之,进入油田整体开发模式。在后期整体开发阶段,为减少钻完井费用,考虑利用延长测试井进行回接。因此,在延长测试阶段,测试井的井位与整体开发阶段的井位保持一致。

2.3 延长测试时间

考虑到用海期限限制,潜山、沙河街组共测试 3 个月,即 180 d。

3 方案实施及结果分析

实施 A 井,生产沙河街组,累计生产 119 d,未见水,累计产油 4.32×10⁴ m³,地层压力下降 5.0 MPa 左右,平均日产油 363 m³,日产气 4.08×10⁴ m³,生产压差 3.0 MPa。

实施 B 井,滑套控制,分层测试沙河街组与潜山组。沙河街累计生产 86 d,未见水,累计产油 0.81×10⁴ m³,单采平均日产油 111 m³,日产气 1.1×10⁴ m³,生产压差 7.0 MPa。潜山累计生产 48 d,未见水,累计产油 0.42×10⁴ m³,地层压力下降 4.3 MPa 左右,单采平均日产油 113 m³,日产气 0.86×10⁴ m³,生产压差 10.0 MPa。

应用数值模拟、物质平衡法、试井研究重新认识了该油藏储量规模、水体倍数、单井动用储量、储层连通性、单井产能等信息,进一步量化了开发风险,有效指导了油田开发方案编制。

3.1 储量规模评价

从井点钻遇资料看,生屑云岩储层厚度从原探井的 30.0 m 变化到现延长测试井的 8.3 m,储层由中部位到高部位减薄,落实了储量风险^[16],油田探明储量减少 20%。

3.2 水体倍数及裂缝沟通见水风险分析

从井点钻遇来看,均钻遇到了潜山顶部低渗透层,说明低渗透层横向分布较稳定,潜山水体沟通到沙河街储层的风险较小。且根据建立的油藏数值模型,通过调整参数,得到不同水体倍数下采

出程度与地层压力下降的图版关系(图 3)。结合该图版,以及实测沙河街组与潜山地层压力下降情况,X 油田属于天然能量不足型油藏(水体倍数小于 2 倍)^[17],可实施注水开发。

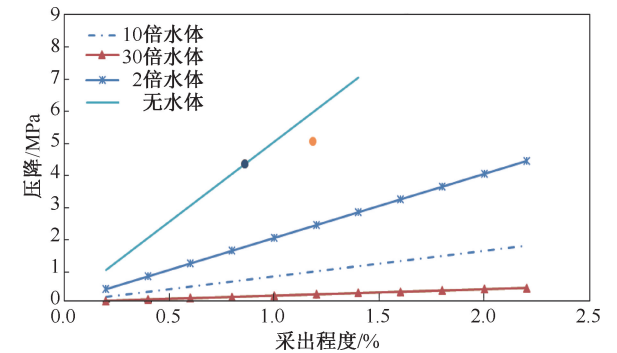


图 3 不同水体倍数下采出程度与地层压力下降的图版关系
Fig.3 Relationship between recovery degree and formation pressure drop under different multiples of water volume

3.3 动用储量分析

应用物质平衡方程计算沙河街组与潜山单井动用储量(表 1)。A 井动用沙河街地质储量 191×10⁴ m³,B 井动用潜山地质储量 39×10⁴ m³^[18],动用储量结果为开发方案布井密度提供依据。

表 1 单井动用储量计算值
Table 1 Calculated value of producing reserves for single well

井号	累产油量/ t	累产水量/ t	体积 系数	综合压 缩系数/ (10 ⁻⁴ MPa ⁻¹)	地层 压降/ MPa	动态 储量/ (10 ⁴ m ³)
A(沙河街组)	2.26	0	1.341	23.66	5.0	191.11
B(潜山组)	0.34	0	1.341	19.89	4.3	39.57

计算单井动用储量公式为

$$N = \frac{N_p B_o + W_p B_w}{B_o C_l \Delta p}$$

式中: N_p 为累产油量,t; W_p 为累产水量,t; B_o 为原油体积系数; B_w 为水体积系数; C_l 为综合压缩系数,MPa⁻¹; Δp 为地层压力降,MPa。

3.4 储层连通性分析

结合试井分析,沙河街组解释渗透率 35.8 mD,探测半径 480 m;潜山试井解释渗透率 1.8 mD,探测半径 132 m。试井解释探测半径范围内均未见明显不连通边界。

此外,A 井先实施测试沙河街组,累产 1.67×10⁴ m³后,B 井上返沙河街组测静压,测得已存在压降 0.20 MPa,A 井的压力降已影响到 B 井处,判断 A、B 井储层连通,验证了该油藏连通性较好(图 4、图 5),满足注水开发方案的受效要求。

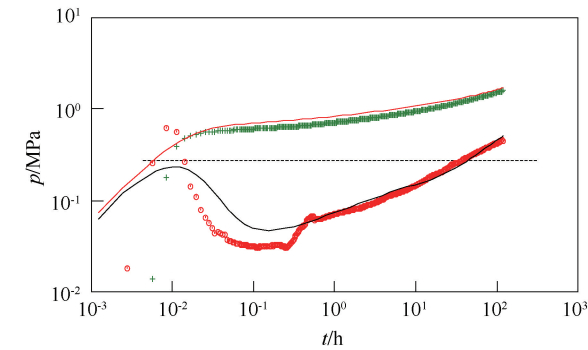


图 4 A 井(沙河街组)压力及其导数双对数曲线
Fig. 4 Pressure and its derivative double logarithm curve of Well A (Shahejie formation)

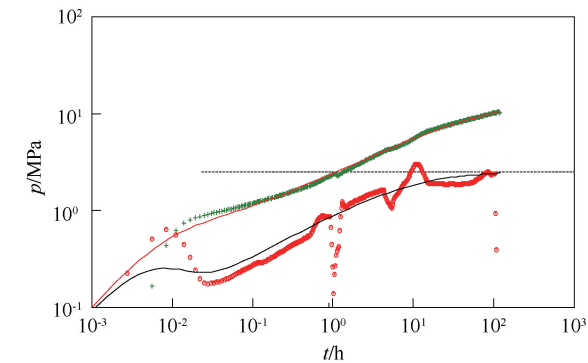


图 5 B 井(潜山)压力及其导数双对数曲线
Fig. 5 Double logarithm curve of pressure and its derivative in Well B (Buried hill)

3.5 整体开发方案变化情况

通过延长测试数据分析,重新认识了该油藏储量规模、水体倍数、单井动用储量、储层连通性、单井产能等信息。

在此基础上,结合储量规模完成动用储量分析;结合单井动用储量完成了井位重新部署;结合单井延长测试产能完成重新配产;结合油田物性和连通性认识,完成了采收率预测。进一步降低了油田整体开发方案的风险^[19-20](表 2)。

表 2 开发方案变化统计表
Table 2 Statistical table of development plan changes

参数	动用 储量/ (10 ⁴ m ³)	油井 数	注水 井数	初期年 产油/ (10 ⁴ m ³)	累产油/ (10 ⁴ m ³)	采收 率/ %
原开发方案	740.0	5	4	21.7	182.0	24.6
延长测试后方案	402.6	3	2	22.3	95.0	23.6
方案变化	-337.4	-2	-2	0.6	-87.0	-1.0

4 结论

(1)海上油田常规勘探评价井产能测试时间短,动态地质油藏数据资料无法满足后续方案设计

需求,针对该情况,渤海油田投建了某自升式延长测试平台,通过延长测试的方式丰富了油田认识,深化评价油田开发风险。

(2)渤海 X 油田地质油藏条件复杂,为量化油田风险,实施 2 口开发评价井,应用“延长测试平台+延长测试井口+外输油轮”的作业方案,在考虑回接再利用的基础上,完成油田为期 3 个月的延长测试,完成动态数据采集工作。

(3)通过评价井延长测试数据分析,重新认识了该油藏储量规模、水体倍数、单井动用储量、储层连通性、单井产能等信息。在此基础上,完成了整体开发方案研究,充分降低了油田整体开发方案的风险。
致谢:感谢中海石油(中国)有限公司天津分公司同意本文公开发表。

参考文献

[1] 张利军. 海上油田 DST 测试产能与投产初期产能关系研究[D]. 北京:中国石油大学(北京),2010.
ZHANG Lijun. Researching on the relationship between DST productivity and productivity in early period on offshore oilfield [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2010.

[2] 余碧君,毛伟,王春瑞. 应用地层测试流动段资料确定油井稳定产能方法研究[J]. 油气井测试,2003,12(2): 9-11.
YU Bijun, MAO Wei, WANG Chunrui. A method study for predicting oil well steady-state deliverability by applying formation testing flow period data [J]. Well Testing, 2003,12(2):9-11.

[3] 何逸凡,胡勇,周海燕,等. 渤中 25-1 南油田窄河道型油藏中途测试产能评价[J]. 新疆石油地质,2016,37(2): 204-207.
HE Yifan, HU Yong, ZHOU Haiyan, et al. Evaluation of DST deliverability in narrow channel sand reservoir in BZ25-1s Oilfield, Bohai Sea [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2016,37(2):204-207.

[4] 詹静,林加恩. 油气井产能分析研究[J]. 油气井测试, 2017,26(1):1-5.
ZHAN Jing, LIN Jia'en. Research on well productivity analysis [J]. Well Testing, 2017,26(1):1-5.

[5] 蔡晖,马奎前,苏彦春,等. 一种新的海上油田产能测试设计方法[J]. 油气井测试,2017,26(1):19-20,23.
CAI Hui, MA Kuiqian, SU Yanchun, et al. A new produ-ctivity potential design method for offshore oilfield [J]. Well Testing, 2017,26(1):19-20,23.

[6] 蔡晖,张占华,黄琴,等. 拟稳定流开始时间在海上油田产能测试设计中的应用:2015 油气田勘探与开发国际会议论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2015: 261-265.

- CAI Hui, ZHANG Zhanhua, HUANG Qin, et al. Application of pseudo-steady flow start time in productivity test design of offshore oil field: 2015 International Field Exploration and Development Conference [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015:261-265.
- [7] 蔡晖. 确定油井测试时间校正系数的新方法[J]. 中国海上油气, 2010, 22(6): 391-393.
- CAI Hui. A new method to determine calibration coefficient for oil-well testing time [J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6): 391-393.
- [8] 姜永. 具有溶解气和气顶影响 DST 测试产能分析[J]. 油气井测试, 2014, 23(4): 26-28.
- JIANG Yong. DST test capacity analysis with dissolved gas and gas cap layer influence [J]. Well Testing, 2014, 23(4): 26-28.
- [9] 冯其红, 王相, 王波, 等. 非均质水驱油藏开发指标预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(1): 36-39.
- FENG Qihong, WANG Xiang, WANG Bo, et al. A new method for prediction of heterogeneous reservoir development index by water-flooding [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1): 36-39.
- [10] 邴绍献. 水驱油藏单井可采储量影响因素权重定量研究[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(6): 78-81, 85.
- BING Shaoxian. Quantitative study of factors weight of single well recoverable reserves in water drive reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(6): 78-81, 85.
- [11] 王应斌, 薛永安, 王广源, 等. 渤海海域石臼坨凸起浅层油气成藏特征及勘探启示[J]. 中国海上油气, 2015, 27(2): 8-16.
- WANG Yingbin, XUE Yong'an, WANG Guangyuan, et al. Shallow layer hydrocarbon accumulation characteristics and their exploration significances in Shijiutuo uplift, Bohai Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(2): 8-16.
- [12] 余宏忠, 王玉静, 江涛, 等. 渤中凹陷沙二段生屑云岩的发现及勘探意义[J]. 科技导报, 2010, 28(8): 60-64.
- YU Hongzhong, WANG Yujing, JIANG Tao, et al. Discovery of bioclastic dolostone in the second member of Shahejie formation in Bozhong depression and its significance in oil exploration [J]. Science & Technology Review, 2010, 28(8): 60-64.
- [13] 李海波, 侯吉瑞, 李巍, 等. 碳酸盐岩缝洞型油藏氮气泡沫驱提高采收率机理可视化研究[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(4): 93-96, 106.
- LI Haibo, HOU Jirui, LI Wei, et al. Laboratory research on nitrogen foam injection in fracture-vuggy reservoir for enhanced oil recovery [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 93-96, 106.
- [14] 付永强. 砂岩油藏注水开发水驱效果评价指标与方法研究[D]. 成都: 西南石油学院, 2000.
- FU Yongqiang. Effect evaluation indexes and method of sandstone reservoirs with water flooding [D]. Chengdu: Southwest Petroleum Institute, 2000.
- [15] 尤启东, 周方喜, 张建良. 复杂小断块油藏水驱开发效果评价方法[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(1): 78-81.
- YOU Qidong, ZHOU Fangxi, ZHANG Jianliang. Evaluation procedure of water flooding effect of complicated small fault blocks [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2009, 16(1): 78-81.
- [16] 刘志刚, 周心怀, 李建平, 等. 渤海海域石臼坨凸起东段 36-3 构造古近系沙二段储集层特征及控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 832-838.
- LIU Zhigang, ZHOU Xinhui, LI Jianping, et al. Reservoir characteristics and controlling factors of the Paleogene Sha-2 member in 36-3 structure, eastern Shijiutuo uplift, Bohai Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 832-838.
- [17] 李迎环. 应用水平井技术提高潜山油藏开发效果[J]. 断块油气田, 2009, 16(2): 75-76.
- LI Yinghuan. Application of horizontal well in improving development effect of buried hill reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2009, 16(2): 75-76.
- [18] 李传亮. 油藏工程原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 202-214.
- [19] 陈民锋, 姜汉桥. 海上油田不同开发井型合理生产制度研究[J]. 钻采工艺, 2007, 30(3): 67-71.
- CHEN Minfeng, JIANG Hanqiao. Reasonable production system determination for different well types in offshore oilfields [J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(3): 67-71.
- [20] 袁士义. 裂缝性油藏开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 229-232.

编辑 穆立婷

第一作者简介: 岳宝林, 男, 1986 年出生, 硕士, 工程师, 2012 年毕业于中国石油大学(华东)油气田开发专业, 现主要从事油气田开发工作。电话: 022-66501102, 18622977985; Email: yuebl@cnooc.com.cn。通信地址: 天津市滨海新区海川路 2121 号 B 座, 邮政编码: 300452。