

喇嘛甸中块层系井网调整技术经济界限

吴家文¹,左松林¹,赵秀娟¹,费建平²,刘洪涛³,王起超⁴

(1.中国石油大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712; 2.中国石油大庆油田有限责任公司 大庆钻探工程公司,黑龙江 大庆 163413; 3.中国石油大庆油田有限责任公司 第二采油厂,黑龙江 大庆 163414; 4.中国石油大庆油田有限责任公司 测试技术服务分公司,黑龙江 大庆 163511)

摘要:为了确定层系井网调整的技术经济界限,以动态分析、理论计算、数值模拟和经济评价相结合的方法,研究了喇嘛甸中块层系井网调整的井距、纵向渗透率变异系数、层系组合厚度和层系组合跨度等参数的技术经济界限。其中,通过动态分析方法研究在现井网条件下逐步加密时水驱控制程度的变化规律;应用数值模拟技术研究井距与采收率关系,综合确定合理井距;在合理井距研究的基础上,通过概念模型确定渗透率变异系数界限;运用经济评价方法,依据盈亏平衡原理,计算合理井距、不同油价下的合理层系组合厚度;基于井距和层系组合厚度界限,通过理论计算,确定合理层系组合跨度;通过数值模拟和经济评价方法确定井网调整后的界限。结果表明,当喇嘛甸中块合理井距为150 m时,合理层系组合厚度为7.5 m,合理层系组合跨度为50 m,合理纵向渗透率变异系数为0.7。

关键词:层系组合厚度 经济界限 合理井距 层系组合跨度 纵向渗透率变异系数

中图分类号:TE313.5

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)05-0113-04

Technical and economic boundaries on formation and well pattern adjustment in Lazhong block

Wu Jiawen¹, Zuo Songlin¹, Zhao Xiujuan¹, Fei Jianping², Liu Hongtao³, Wang Qichao⁴

(1. *Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing City, Heilongjiang Province, 163712, China*; 2. *Daqing Drilling & Exploration Engineering Company, Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing City, Heilongjiang Province, 163413, China*; 3. *No.2 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing City, Heilongjiang Province, 163414, China*; 4. *Well Logging Services Branch Company of Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing City, Heilongjiang Province, 163511, China*)

Abstract: In order to determine the technical and economic boundaries of well pattern adjustment, technical and economic boundaries of well spacing, longitudinal permeability variation coefficient, and thickness and span of layer series combination were studied through dynamic analysis, theoretical calculation, numerical simulation and economic evaluation. The variation waterflood controlling level with well spacing was studied through dynamic analysis. Relationship between recovery efficiency and well spacing was studied using numerical simulation to determine rational well spacing. Limit of permeability variation coefficient was obtained by conceptual model. Rational combination thickness of layer series with different well spacings and oil prices was calculated based on profit and loss balance principle using economic evaluation method. Combination series span was determined through theoretical calculation based on well spacing and combination thickness of layer series. Initial oil rate and water cut after adjustment was calculated using numerical simulation and economic evaluation. Reasonable well spacing of Lazhong block is 150 m, and reasonable combination thickness is 7.5 m. The combination span is 50 m, and the longitudinal permeability variation coefficient is 0.7.

Key words: thickness of layer series combination; economic boundaries; rational well spacing; span of layer series combi-

收稿日期:2015-07-15。

作者简介:吴家文(1975—),男,山东陵县人,高级工程师,博士,从事层系井网调整和方案编制等研究。联系电话:13836991327, E-mail: wjw253517@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目“低渗透油藏提高驱油效率的机理研究”(50634020)。

nation; longitudinal permeability variation coefficient

目前,喇嘛甸中块已经进入特高含水开发阶段,层系井网交叉严重,平面上井距不均,波及系数低;纵向上层间干扰较大,注水效果差、动用程度低、含水率上升快。通过局部的单井挖潜和措施调整不能从根本上解决喇嘛甸中块的层系井网问题,需要进行层系井网的调整与重组,表现为平面上缩小井距,提高注水效果;纵向上缩小井段,减小层间矛盾。层系井网的调整,需要技术经济界限研究的支持。鞠洪文等分别应用理论计算、动态分析等方法研究了合理井距的确定方法^[1-3]。对于渗透率变异系数的研究,目前多集中在算法对比与分析方面^[4-6],也有关于渗透率变异系数与驱油效果的研究^[7-9],但未涉及技术经济界限研究,层系组合厚度、层系组合跨度等技术指标界限的研究相对较少,不具有系统性^[10-11]。笔者利用动态分析与数值模拟相结合的方法确定喇嘛甸中块的合理井距,并以合理井距为基础,综合运用动态分析、理论计算、数值模拟和经济评价等方法确定合理纵向渗透率变异系数、合理层系组合厚度和合理层系组合跨度。

1 层系井网技术经济界限

1.1 合理井距

根据研究区地质特征,绘制各小层的沉积相带图,将现有井网在沉积相带图上标注出来,根据井网分布、油水井在小层的射孔情况、小层相带分布,综合计算现有井网条件下小层的水驱控制程度;然后,应用相同的方法,把现有井网逐步加密,研究不同井距下的水驱控制程度,分析井距与水驱控制程度的关系。研究表明,有效厚度小于1 m,渗透率小于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的3类油层的井距为150~200 m时,砂体有效控制程度较高,当井距大于150 m时,砂体有效控制程度下降较快。

根据研究区地质模型,采用数值模拟方法,部署不同井距的五点法井网,研究井距与采收率的关系。结果表明,当井距大于150 m时,随着井距的增加,采收率下降较快,因此确定喇嘛甸中块合理井距为150 m。

1.2 合理纵向渗透率变异系数

纵向渗透率变异系数主要反映纵向非均质性,对开发效果影响较大。纵向渗透率变异系数大的井,其开发效果较差,主要表现为油井含水率高、水

井吸水差和动用程度低。纵向渗透率变异系数计算式为

$$V_k = \frac{\sigma}{\bar{K}} \tag{1}$$

其中

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n}} \tag{2}$$

式中: V_k 为纵向渗透率变异系数; σ 为标准偏差; \bar{K} 为平均渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; n 为纵向上的小层数; i 为序列数; K_i 为第 i 个小层的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

采用数值模拟方法,建立纵向10个小层的概念模型,平面为均质,纵向为非均质,保持渗透率级差不变(即最大渗透率层和最小渗透率层渗透率不变),通过调整中间层渗透率获得不同的纵向渗透率变异系数,研究纵向渗透率变异系数与采收率的关系(图1)。结果表明,纵向渗透率变异系数每增加0.1,采收率就会下降0.7个百分点,但当纵向渗透率变异系数大于0.7以后斜率变小;根据纵向渗透率变异系数对采收率影响,纵向渗透率变异系数应控制在0.7以内。

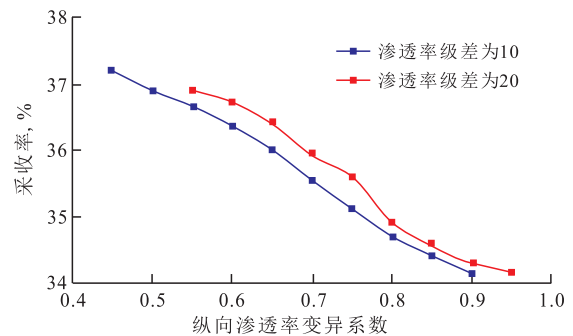


图1 不同渗透率级差下纵向渗透率变异系数对采收率的影响

Fig.1 Influence of longitudinal permeability variation coefficient on recovery efficiency at different permeability ratios

1.3 合理层系组合厚度

利用经济评价方法,依据盈亏平衡原理,以研究区现有井网为基础,计算不同井距、不同油价的最低累积产油量界限,并在此基础上根据容积法反推不同井距、不同油价的层系组合厚度界限。结果表明,当合理井距为150 m、油价为80美元/桶时,层系组合厚度界限为7.5 m(图2)。

1.4 合理层系组合跨度

通过分析层系数与层系组合跨度、纵向渗透率

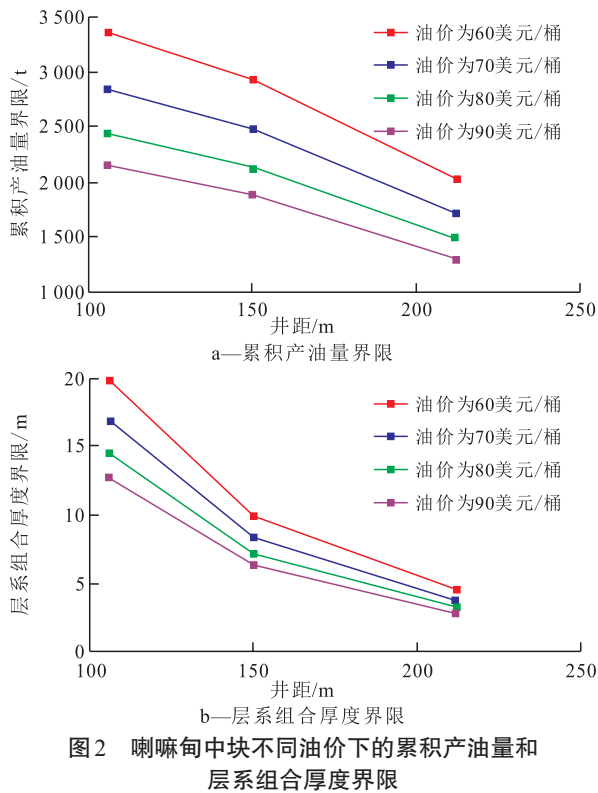


图2 喇嘛甸中块不同油价下的累积产油量和层系组合厚度界限

Fig.2 Cumulative oil output and combination thickness at different oil prices in Lazhong block

变异系数、层系顶底破裂压力差之间的关系,以层系组合厚度作为约束条件,综合确定层系段数和层系组合跨度界限。根据经验方法^[12]计算可知,层系组合跨度每增加100 m,注水压力与破裂压力的差值增加0.3 MPa。破裂压力和注水压力随埋深的关系表现为:埋深为800 m时,破裂压力与注水压力较接近;埋深为1 400 m时,破裂压力与注水压力的差值变大。因此,当层系组合跨度较大时,如果注水压力刚刚满足顶层的注水要求,那么层系底部小层的注水压力则与实际需要差距较大,造成底部小层吸水差,油层难以动用,这也是层系组合跨度大时油层开采效果差的原因之一。

将研究区3类油层划分为1~5套层系,计算每套层系的组合跨度、层系组合厚度、纵向渗透率变异系数和层系顶底破裂压力差。从图3可以看出,以层系组合厚度7.5 m作为约束条件,从层系组合厚度看,研究区层系划分应小于等于5段;从层系组合跨度看,当层系划分为3~4段时符合层系组合厚度界限的要求。根据上述研究成果,确定层系数为3~4段,层系组合跨度为50 m,层系顶底破裂压力差为0.15 MPa左右。从层系组合厚度与纵向渗透率变异系数之间的关系(图4)可以看出,当层系数为3~4段时,纵向渗透率变异系数小于0.7,满足纵向渗透率变异系数的界限要求。

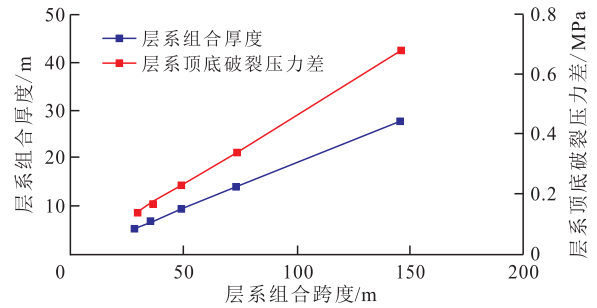


图3 喇嘛甸中块层系组合跨度与层系组合厚度和层系顶底破裂压力差关系

Fig.3 Relationship between combination span and combination thickness, bursting pressure difference in Lazhong block

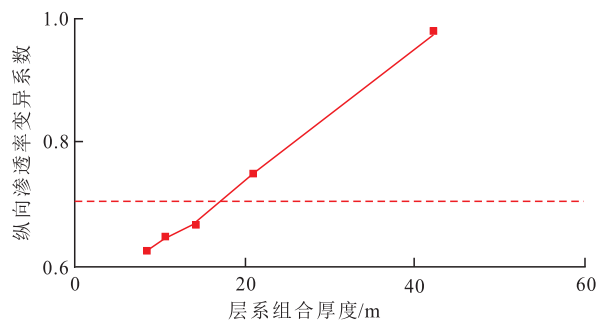


图4 喇嘛甸中块层系组合厚度与纵向渗透率变异系数关系

Fig.4 Relationship between combination thickness and longitudinal permeability variation coefficient in Lazhong block

2 合理技术经济指标下的新井初始产油量和初始含水率界限

井距、纵向渗透率变异系数、层系组合跨度、层系组合厚度的界限值确定后,需制定层系井网调整后的新井初始产油量、初始含水率的界限值。应用数值模拟技术,结合经济评价方法,确定研究区不同油价、不同井距下的初始产油量界限和初始含水率界限(图5,图6)。从图5和图6可见,当合理井距

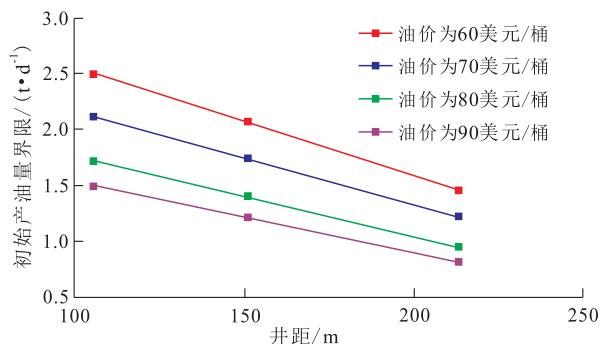


图5 喇嘛甸中块不同井距与新井初始产油量界限关系

Fig.5 Relationship between initial oil rate of new well and different well spacings in Lazhong block

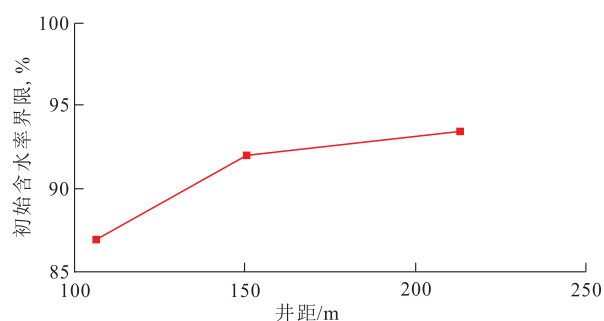


图6 喇嘛甸中块不同井距与新井初始含水率界限关系

Fig.6 Relationship between initial water cut of new well and different well spacings in Lazhong block

为150 m、油价为80美元/桶时,其新井初始产油量界限为1.42 t/d,新井初始含水率界限为92.0%。

3 结束语

研究层系井网技术经济界限的方法,立足区块现状,以经济效益为中心,综合应用了动态分析、理论计算、数值模拟、经济评价等多种手段,多种指标相互约束,避免了多指标之间的矛盾。但是,各技术经济指标之间相互影响,比如层系组合跨度与纵向渗透率变异系数之间存在一定的相关性,需要深入研究。此外,制定界限时,还应考虑采油速度、措施工作量等其他指标,在今后的工作中继续深入研究。

参考文献:

[1] 鞠洪文.TX油藏合理井网密度及合理注采井距研究[J].内蒙古石油化工,2008,(16):7-8.
Ju Hongwen.Study on rational well density and rational well spacing in TX oilfield [J].Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008,(16):7-8.

[2] 杨小平,唐军.动态分析法确定低渗透砂岩油藏合理井距[J].特种油气藏,2006,13(6):64-68.
Yang Xiaoping, Tang Jun.Determination of rational well spacing in low permeability sandstone reservoir by dynamic analysis [J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2006, 13(6):64-68.

[3] 周金应,万怡姝.一种计算高含水后期合理井网密度的新方法[J].断块油气田,2008,15(1):48-51.
Zhou Jinying, Wan Yiwen.A new method of calculating rational well spacing density in late stage of high water cut [J].Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(1):48-51.

[4] 马光华,魏文懂,钱凤燕.浅谈储层渗透率变异系数计算方法[J].地质找矿论丛,2013,28(2):256-262.
Ma Guanghua, Wei Wendong, Qian Fengyan.Discussion on the variation coefficient calculation method of reservoir permeability [J].Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2013, 28(2):256-262.

[5] 李子甲,宋杰,钱杰.渗透率变异系数不同计算方法的对比分析[J].新疆石油地质,2007,28(5):612-614.
Li Zijia, Song Jie, Qian Jie.Comparison and analysis of calculation of different reservoir permeability variation factors [J].Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(5):612-614.

[6] 李俊玲.渗透率变异系数不同计算方法分析[J].油气田地面工程,2006,25(12):10-12.
Li Junling.Analysis of calculation of different reservoir permeability variation coefficients [J].Oil-Gas Field Surface Engineering, 2006, 25(12):10-12.

[7] 张向宇,张志东,潘建华,等.渗透率和渗透率变异系数对复合体系非均质模型驱油效果的影响[J].油田化学,2009,26(3):325-328.
Zhang Xiangyu, Zhang Zhidong, Pan Jianhua, et al.Oil displacement efficiency of some combinational chemical flooding solutions on heterogeneous sandstone reservoir models of different permeability and permeability variation coefficient [J].Oilfield Chemistry, 2009, 26(3):325-328.

[8] 刘朝霞,王强,孙盈盈,等.聚合物驱矿场应用新技术界限研究与应用[J].油气地质与采收率,2014,21(2):22-24,31.
Liu Zhaoxia, Wang Qiang, Sun Yingying, et al.Study and application of new technological limit for polymer flooding in field application [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2):22-24, 31.

[9] 李劲峰,曲志浩,赵斌.鄯善油田三间房组油层驱油效率与渗透率变异系数突进系数和级差关系的研究[J].西安工程学院学报,1999,21(1):39-43.
Li Jinfeng, Qu Zhihao, Zhao Bin.Research for the relationship between sweep efficiency and permeability variation, dart-coefficient, contrast-coefficient of Sanjianfang reservoir in Shanshan oil field [J].Journal of Xi'an Engineering University, 1999, 21(1):39-43.

[10] 孙璐,陈民锋,刘月田,等.厚层稠油油藏蒸汽吞吐后期立体注采井网设计及优化[J].油气地质与采收率,2013,20(5):72-75.
Sun Lu, Chen Minfeng, Liu Yuetian, et al.Design and optimization on stereoscopic network development at later cyclic steam at thick heavy-oil reservoir [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(5):72-75.

[11] 张保卫.稠油油藏水驱转热采开发经济技术界限[J].油气地质与采收率,2010,17(3):80-82.
Zhang Baowei.Economic and technical limit of thermal development after water flooding in heavy oil reservoir [J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(3):80-82.

[12] 褚义.萨北开发区破裂压力梯度研究[J].大庆石油地质与开发,2006,25(增刊):23-24.
Zhu Yi.Study on fracture pressure gradient in the north Saertu development area [J].Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(supplement):23-24.