

渤海油田 ICD 分仓控水方案设计和控水效果评价方法

张启龙, 龚宁, 徐刚, 陈彬

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院 天津 300459

通讯作者: Email: zhangql40@ cnooc. com. cn

项目支持: 国家科技重大专项“渤海油田高效钻完井及配套技术示范”(2016ZX05058-002)

引用: 张启龙, 龚宁, 徐刚, 等. 渤海油田 ICD 分仓控水方案设计和控水效果评价方法[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 61-67.

Cite: ZHANG Qilong, GONG Ning, XU Gang, et al. Design of ICD water control scheme and evaluation method in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(2): 61-67.

摘要 渤海油田 D5H 井所在区块以底水构造油藏为主, 油井投产后出水严重, 应用中心管和变密度筛管等方式控水效果不佳。基于 D5H 井的控水方案设计流程, 尝试使用 ICD 分仓控水方法进行作业, 控水效果较好; 进而提出一套适用于该油田的 ICD 控水效果定量评价方法: (1) 与相邻同层位生产井含水率对比法; (2) 与原始配产含水率对比法; (3) 与校正数值模拟结果 (模拟井不控水的含水率) 对比法。采用该方法对 D5H 井和变密度筛管控水的 D2H 井控水效果进行评价, 结果显示, D5H 井的平均增油速率为 $6\,043.3\text{ m}^3/\text{a}$, 而 D2H 井仅为 $2\,128.7\text{ m}^3/\text{a}$, 表明 ICD 分仓控水方法的控水效果明显优于变密度筛管控水效果。该研究结果对渤海油田推广使用 ICD 分仓技术以及定量评价单井的控水效果具有很好的指导和借鉴作用。

关键词 渤海油田; ICD 分仓控水; 控水工具; 方案设计; 评价方法; 完井**中图分类号**: TE256 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.02.011

Design of ICD water control scheme and evaluation method in Bohai Oilfield

ZHANG Qilong, GONG Ning, XU Gang, CHEN Bin

Bohai Oil Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300459, China

Abstract: The block where the well D5H located in Bohai Oilfield is dominated by the bottom-water structure reservoir, after production, the oil well produced lots of water. Despite the use of a central tube and a variable density screen to control water, the effect is not good. Based on the design process of the water control of the well D5H, the ICD water control method was tried, it was found that the water control effect was very good. Therefore, based on this, a set of quantitative evaluation methods for ICD water control effect suitable for the oilfield is proposed, which includes: (1) Comparison of water content in the same layer of adjacent production wells; (2) Comparison of water content for the original allocation; (3) Comparison method of corrected numerical simulation result (water content of simulated wells without water control). Comparing the water control effect of well D5H and D2H (variable density screen method), the results show that the average increase rate of oil production in well D5H is $6\,043.3\text{ m}^3/\text{a}$, while well D2H is only $2\,128.7\text{ m}^3/\text{a}$. This indicates that the water control effect of the ICD water control method is significantly better than that of the variable density screen. The research results have a good guidance and reference for the promotion of ICD technology in Bohai Oilfield and the quantitative evaluation of the water control effect of single well.

Keywords: Bohai Oilfield; ICD water control method; water control tools; program design; evaluation method; completion

渤海 D5H 井所在油田构造表现为被断层复杂化的低幅度背斜, 最大圈闭高度约 40 m, 其中底水构造油藏主要发育于馆陶组, 底水型油藏储量约占油田总地质储量的 52%。由于油藏属于边底水驱动, 投产后出现含水快速上升的情况^[1-4]。该油田自 2004 年投产以来, 大部分井面临高含水的形势, 部分井投产一个月含水即上升至 90%, 当前油田整体含水率 91.1%。前期采取的机械控水方法主要

是变密度筛管控水和中心管控水^[5-7], 虽都起到了一定的效果, 但这两种工具在控水方面都有明显的劣势。变密度筛管能有效调节井底压力剖面, 但其控水能力有限, 节流压差调节的能力小 (约为千帕级), 无法达到均衡生产压差需求; 中心管控水工具能够有效解决跟部效应, 预防水平井跟段的水锥现象的发生, 但该工具一般只适用于均质油藏, 不能用于各段渗透率不同的非均质油藏。封隔器分仓+

ICD 控水工具进行控水作业,具有节流压差调节能力强(约为兆帕级)、有效调节井底压力剖面、防止各层油水窜流等特点,在非均质和底水构造油藏的控水作业中具有独特的优势。

ICD 工具(Inflow Control Device)主要用于井下控制地层油水等流体流入井筒的流量^[8-9]。其原理是通过 ICD 控水工具对高渗层段提供附加压降,降低高渗层地层流体进入井筒的流量,以达到调整井底流动剖面的目标,从而降低水锥和气锥现象发生的可能性。部分学者对 ICD 控水工具的作业机理进行了研究。陈献铭^[10]通过数值模拟的方法,研究了螺旋通道型和喷嘴型 ICD 控水机理,初步探究了 ICD 工具的最佳安放位置。吴振华等^[11]结合了曹妃甸油田的实际地层情况模拟了 ICD 在井下的工作状况,证明 ICD 对地层渗透率造成的局部水淹具有较好的抑制作用。付宣等^[12]基于镜像和叠加等油藏渗流模型,优化了 ICD 目标流入剖面。目前,对 ICD 控水机理和适用性已经研究的较为透彻,而对 ICD 控水方案的设计方法以及控水效果评价方法的研究相对较少。本文结合渤海 D5H 井的 ICD 控水方案设计流程,探究了 ICD 控水方案的设计方法,并提出了一套定量评价控水工具控水效果的方法,帮助该技术更早、更好的服务于渤海油田。

1 D5H 井的控水方案设计

渤海 D5H 井的目标储层主要是发育层状边水油藏和块状底水油藏,该井的平均避水高度只有 6.4 m,邻井投产后 5 年内含水率均达到 90% 以上,整个油田平均含水率也到达 91.1%。鉴于以上出水风险,采用封隔器分仓+ICD 工具进行控水作业,以控制该井投产后的含水率,从而保证其经济效益。

1.1 D5H 井的基本信息

D5H 井的主要生产砂体是 Ng_{III} 油组的 Massive 砂体,完井方式为 215.9 mm 裸眼完井,裸眼段范围为 2 090.62 ~ 2 452.00 m,其最大的井斜角为 92.66°,采用的是普通合采生产管柱,投产时间是 2015 年。从出水因素角度考虑,该井具有以下特点:储层非均质性较大,容易造成高渗透段底水锥进;井筒轨迹与油水界面距离不同,容易造成局部见水现象;水平段长度较长(360 m 左右),容易造成水平井跟部先见水。基于以上特点,推荐采用 ICD+封隔器的控水方式,控制 D5H 井在生产过程中的含水率。

1.2 方案设计过程

ICD 工具根据产生附加摩阻的方式分为旋道式和节流式,前者能够产生较大的压降但是对流体的黏度依赖性较强,后者解决了流体黏度的依赖性但是易造成工具的冲蚀与堵塞^[13-15]。目前已经出现了复合型 ICD 工具^[16](图 1),该工具可产生 3 级压降,第 1、2 级产生的附加压降是由环形过流槽和长条流道的摩擦产生的旋道式压降,第 3 级是由节流孔产生的节流式压降,通过调节节流孔的数目来控制压降大小,该类型的控水工具控水效果更佳,适用范围更广,因此 D5H 井就使用该复合型 ICD 工具以增加其控水效果。由 ICD 控水工具作业机理可以看出,影响 ICD 控水工具控水效果的关键设计因素是 ICD 工具和封隔器位置的选取、ICD 工具具体参数的设定^[17-20],此控水方案设计也是基于这两点进行^[21-23]。

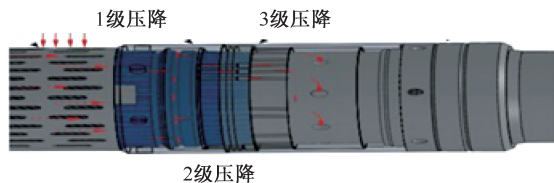


图 1 复合型 ICD 控水工具

Fig.1 Composite ICD water control tool

为了提高 D5H 井的控水效果,采用图 1 所示的复合型 ICD 工具进行作业。根据三级压降节流孔的数目(1、3、5、9 孔),将该类工具分 4 种可选控水等级,节流孔数越少对应控水等级越强。首先通过测井资料得到了 D5H 井各处的含油饱和度(图 2),可知该井在水平各段都有一定出水风险,建议在该井整个水平段采取控水措施。

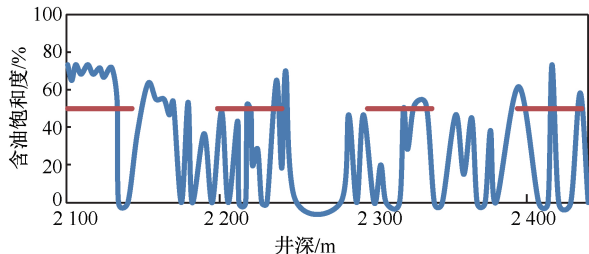


图 2 D5H 井水平段含油饱和度曲线

Fig.2 Oil saturation in the horizontal section of D5H well

同时结合 D5H 井储层非均质性较大和井眼轨迹与油水界面距离不同的特点,将该井段内的渗透率信息和井眼轨迹投影到一张坐标内(图 3),可看出根据渗透率和井眼轨迹(避水高度)将水平井段分为三段:水平段前段 2 095 ~ 2 180 m,该井段轨迹低(避水高度低)、渗透率较高,同时考虑到水平井跟段易见水的特点^[24-26],因此该段为控水作业重点

控制的井段,建议使用小孔数 ICD 进行强抑制作业;中间水平段 2 180~2 320 m,该井段某些位置渗透率和井眼轨迹适当,应考虑适当控水,渗透率为 0 的井段采用盲管;水平段后段 2 320~2 452 m,该段渗透率较高,但同时井段轨迹也较高(避水高度较高),应进行适当压制作业,建议采用中间控水 ICD 进行适当抑制控水。该井的初始控水方案见表 1。

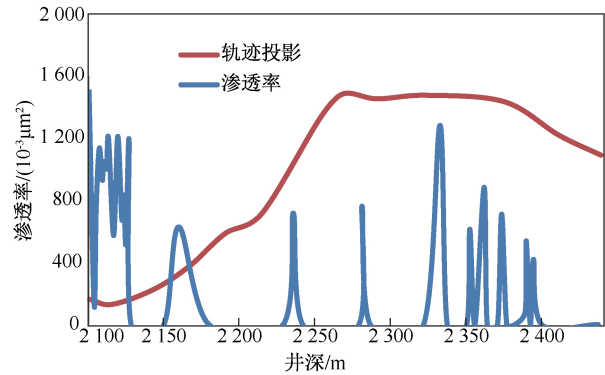


图 3 D5H 井水平段渗透率和轨迹投影图
Fig.3 Permeability and trajectory projection of the horizontal section of well D5H

表 1 D5H 井的控水初始方案			
Table 1 Initial water control scheme for D5H well			
井段/m	控水建议	推荐 ICD 孔数	推荐理由
2 095~2 130	重点控水	1	高渗透率+低轨迹
2 150~2 160	重点控水	1、3	适当渗透率+低轨迹
2 190~2 220	小型控水	9	低透率+高轨迹
2 235~2 245	适当控水	3、5	适当渗透率+高轨迹
2 280~2 290			
2 320~2 452	适当控水	5	较高渗透率+高轨迹

根据初选方案总共提出了四种具体的 ICD 参数组合方案(表 2)。对这四种方案进行油藏数值模拟。根据 D5H 井的实际信息,建立如图 4 所示的近井模型。

表 2 ICD 参数组合方案	
Table 2 Parameter combination scheme of ICD	
序号	ICD 孔数(从跟到趾)
方案一	1-1-9-3-5
方案二	1-1-9-5-5
方案三	1-3-9-3-5
方案四	1-3-9-5-5

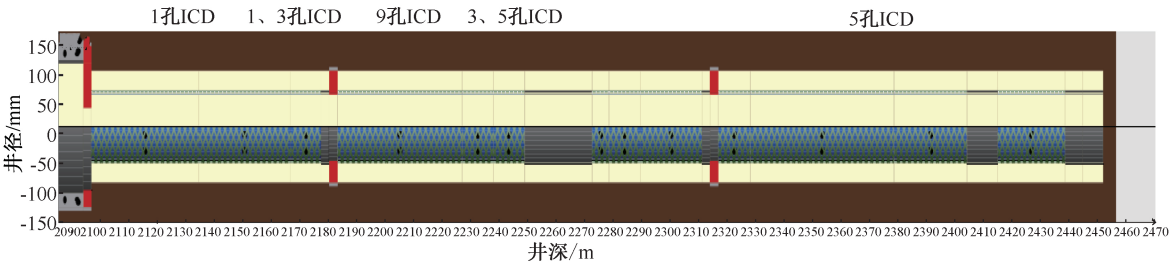


图 4 D5H 井的控水模型
Fig.4 Water control model of D5H Well

表 2 中,方案一为从跟端到趾端的 5 个水平段选取的 ICD 过流孔数分别为 1、1、9、3、5 孔,简称“1-1-9-3-5”,其余方案相同。由图 4 将油藏数值模型和井眼轨迹导入近井流体计算软件计算各种方案的逐年产水率,得到该井的逐年含水率变化(图 5)。

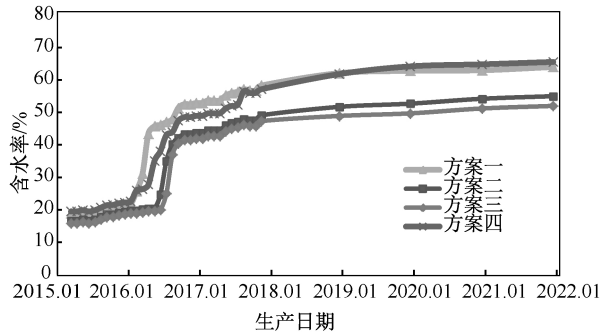


图 5 逐年含水率软件计算结果
Fig.5 Software calculated annual water content results

以最小产水率为标准得出定产量条件下的最优 ICD 方案为方案三,即 2 150~2 160 m 选 3 孔 ICD、2 235~2 245 和 2 280~2 290 m 选 5 孔 ICD。根据优选的设计方案对 D5H 井进行了控水设计,并于 2015 年 4 月正式开始投产。

1.3 控水方案设计流程

通过对该油田 D5H 井控水方案的设计过程,形成了一套适用于该油田的 ICD 控水方案设计思路(图 6),并成功的指导了后续几口井控水作业的实施。

其设计的关键在于以下三点:

(1)通过测井和井眼轨迹资料对水平井段进行合理的分仓;

(2)综合各个因素进行 ICD 位置的选择,并得到 ICD 参数的初选方案;

(3)以逐年最小产水率为目标,优化 ICD 工具的参数组合。

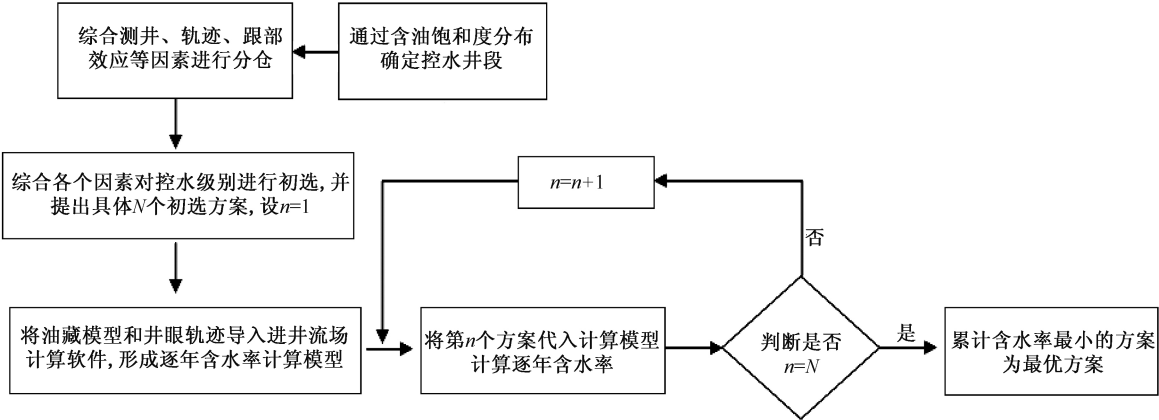


图 6 渤海某油田 ICD 控水方案设计流程
Fig.6 Workflow of ICD water control scheme in an oilfield in Bohai

2 控水效果评价方法研究

本文提出了一套系统的控水效果评价方法,并利用该方法对渤海油田的几口实际控水井进行了控水效果的综合评价。

2.1 控水评价方法的建立

生产井控水的最终目的是通过降低含水率的方式增加油气的最终产量,为了能够定量的描述控水的增油效果,提出了等效增油量和平均增油速率的概念,即

$$\Delta Q_o = \sum Q \times \Delta C \times t \tag{1}$$

$$q_o = \frac{\Delta Q_o}{T} \tag{2}$$

式中: ΔQ_o 为等效增油量, m^3 ; Q 为该井实际日产液, m^3/d ; ΔC 为含水率下降值, %; t 为累计生产时间, d; q_o 为平均增油速率, m^3/d ; T 为累计生产年数, a。

等效增油量代表实施控水作业后,不采取控水作业的单井累计增油量,而平均增油速率代表累计增油量的增加速率。所以定量评价控水效果的关键是如何表征不采取控水作业的单井含水率,从这个角度提出了三种控水效果评价方法:(1)与相邻同层位生产井含水率对比法;(2)与原始配产含水率对比法;(3)与校正数值模拟结果(模拟井不控水的含水率)对比法。综合这三种方法可以综合判断一口井的控水效果。

2.2 实例分析

通过上述评价方法,对 D5H 井和 D2H 井进行控水效果评价,其中 D5H 采用的是 ICD 工具控水, D2H 采用的是变密度筛管控水。

2.2.1 与相邻同层位生产井含水率对比法

首先要寻找目标井的相邻同层位且没有采取控水作业的生产井,根据井位和生产层位,得到了 D5H 井的相似井为 D7H1 和 D15H 井,而 D2H 井的相似井为 D29H 井。将目标井和相似井的逐年含水率进行对比,如图 7、图 8 所示。

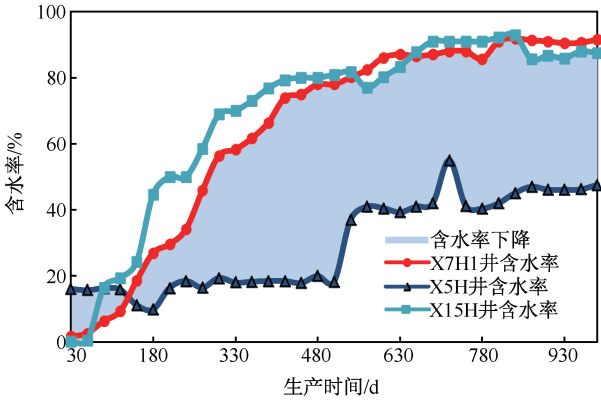


图 7 D5H 井与相似井含水率对比
Fig.7 Comparison of water content between Well D5H and similar wells

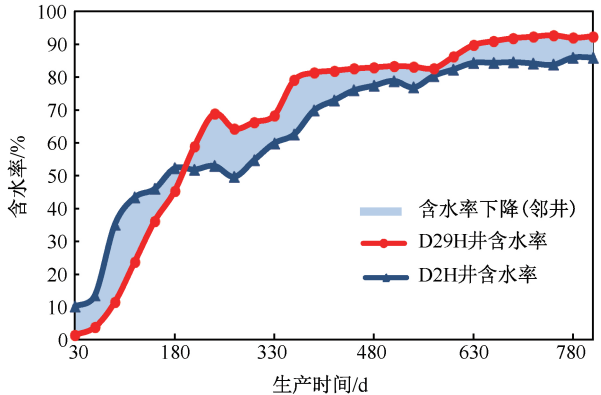


图 8 D2H 井与相似井含水率对比
Fig.8 Comparison of water content between Well D2H and similar wells

图 7、图 8 中,蓝色阴影部分代表的是含水率的差值,其中“+”代表目标井含水率的下降区域,而“-”代表目标井含水率的上升区域。通过对比,可计算 D5H 井的等效增油量为 $11\,668.3\text{ m}^3$,平均增油速率为 $4\,375.1\text{ m}^3/\text{a}$;D2H 井的等效增油量为 $5\,583\text{ m}^3$,平均增油速率为 $2\,481.3\text{ m}^3/\text{a}$ 。

2.2.2 与原始配产含水率对比法

将目标井与没有考虑控水方案的初始配产进行对比,其对比结果如图 9 和图 10 所示。两口井较初始配产含水率都有不同程度的下降,其中 D5H 井的等效增油量为 $19\,759.6\text{ m}^3$,平均增油速率为 $7\,400.6\text{ m}^3/\text{a}$;D2H 井的等效增油量为 $1\,959.9\text{ m}^3$,平均增油速率为 $871.1\text{ m}^3/\text{a}$ 。

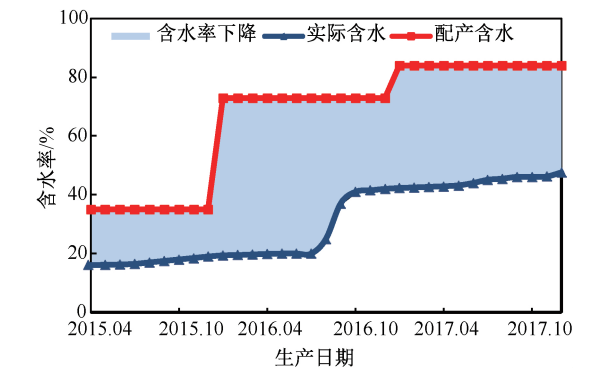


图 9 D5H 井与配产含水率对比
Fig.9 Comparison of water content between D5H Well and allocation

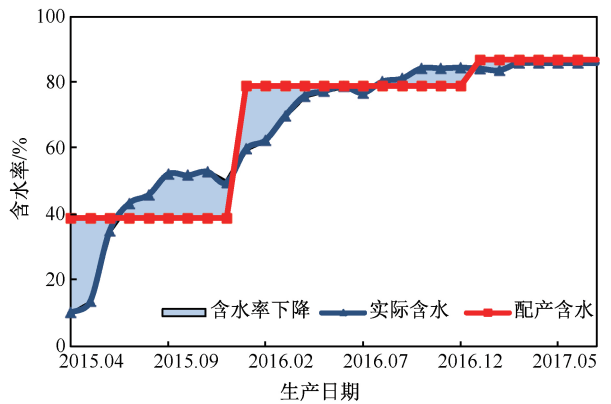


图 10 D2H 井与配产含水率对比
Fig.10 Comparison of water content between D2H Well and allocation

2.2.3 与软件模拟结果(无控水)含水率对比法

通过软件模拟目标井的实际情况,然后通过修改实时层位含水饱和度将软件模拟结果对比实际产水率对油藏模型进行校正,将目标井的控水工具去除,利用修正后的模型计算该井去掉控水工具后的逐年产水率,再与实际产水率进行对比。D5H 井

和 D2H 井的对比结果如图 11 和 12 所示,其中 D5H 井的等效增油量为 $16\,965.9\text{ m}^3$,平均增油速率为 $6\,354.3\text{ m}^3/\text{a}$;D2H 井的等效增油量为 $6\,825.6\text{ m}^3$,平均增油速率为 $3\,033.6\text{ m}^3/\text{a}$ 。

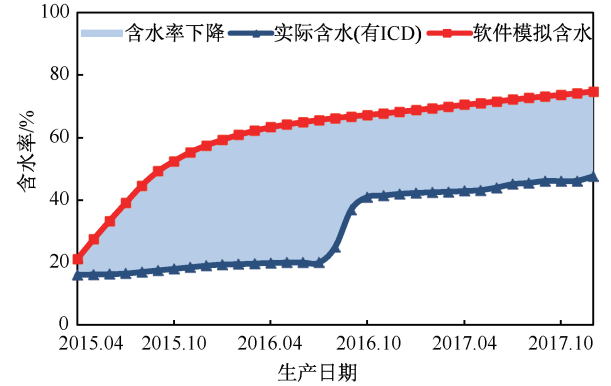


图 11 D5H 井与模拟(无控水)含水率对比
Fig.11 Comparison of water content between D5H Well and software simulation (without water control)

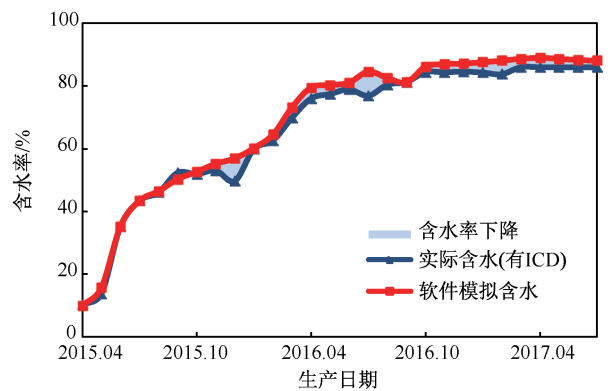


图 12 D2H 井与软件模拟(无控水)含水率对比
Fig.12 Comparison of water content between D2H Well and software simulation (without water control)

将以上三种方法的定量评价结果汇总,取三种方法的平均值可知,D5H 井的平均增油速率为 $6\,043.3\text{ m}^3/\text{a}$,而 D2H 井的平均增油速率为 $2\,128.7\text{ m}^3/\text{a}$ 。由此可见,ICD 控水的效果要明显优于变密度筛管。通过软件计算结果可知,ICD 较变密度筛管控水能够在强控水段产生较大压降^[19-21],大幅增加了低含水率井段的产量,从而减小了该井的整体产水率(图 13)。

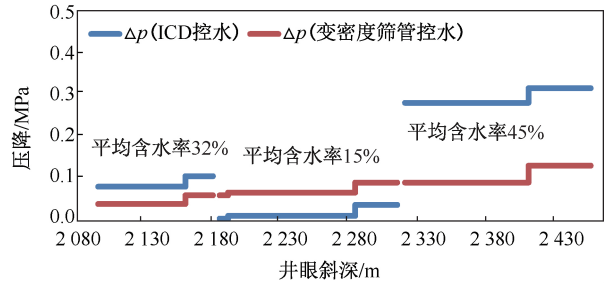


图 13 ICD 与变密度筛管控水压降对比
Fig.13 Comparison of pressure drop between ICD and variable density screen water control method

3 结论

(1) 渤海油田 D5H 井所在区块以底水构造油藏为主, 油井投产后出水严重, 应用中心管和变密度筛管等方式控水效果不佳, 首次尝试使用 ICD 分仓控水的方法进行作业, 控水效果良好。

(2) 基于 D5H 井的 ICD 分仓控水方案的设计, 提出了一套适用于该油田的控水方案设计流程, 并成功指导该区块后续井的控水作业。

(3) 为了量化控水效果的概念, 首次提出了三种控水效果评价方法。利用该方法对 D5H 井和 D2H 井的控水效果进行了评价, 评价结果表明, ICD 分仓控水方法的控水效果明显优于变密度筛管控水。

致谢: 感谢中海石油(中国)有限公司天津分公司对本文发表的支持, 本文已通过单位保密审查。

参考文献

[1] 时宇, 杨正明, 张训华, 等. 底水油藏水平井势分布及水锥研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(6): 72-75.
SHI Yu, YANG Zhengming, ZHANG Xunhua, et al. Studies of the potential distribution and water coning of horizontal well in a bottom-water driven oil reservoir [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2008, 27(6): 72-75.

[2] 李立峰, 岳湘安, 张立娟. 考虑井筒压降的底水油藏水平井见水时间研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2012, 27(4): 46-49.
LI Lifeng, YUE Xiang'an, ZHANG Lijuan. Study on water breakthrough time of horizontal well in bottom water reservoir considering wellbore pressure drop [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2012, 27(4): 46-49.

[3] 郭秀文. 边底水油藏见水时间及无水期采收率的确定[J]. 断块油气田, 2003, 10(1): 51-52.
GUO Xiuwen. The determination method of the water-coming time and the breakthrough recovery in edge and bottom water reservoir [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2003, 10(1): 51-52.

[4] 甄宝生. 井下智能找水、堵水技术在渤海油田水平井中的应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(4): 56-57.
ZHEN Baosheng. Application of underground intelligent water finding and water plugging technology in horizontal wells of Bohai oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(4): 56-57.

[5] 马磊, 王尔钧, 魏安超, 等. 海上油气井测试管柱决策系统研究[J]. 油气井测试, 2017, 26(2): 28-32.
MA Lei, WANG Erjun, WEI Anchao, et al. Well testing string decision-making system for offshore oil and gas wells

[J]. Well Testing, 2017, 26(2): 28-32.

[6] 刘晓旭, 吕选鹏, 何风华, 等. 自选相可解除堵水技术及效果分析[J]. 油气井测试, 2016, 25(2): 71-72.
LIU Xiaoxu, LYU Xuanpeng, HE Fenghua, et al. A removable optional phase water sealing technology and analysis of its effect [J]. Well Testing, 2016, 25(2): 71-72.

[7] 王利军, 刘传刚, 王丙刚, 等. 海上油田水平井控水完井技术现状及发展趋势[J]. 石油矿场机械, 2017, 46(1): 86-89.
WANG Lijun, LIU Chuangang, WANG Binggang, et al. Status and development trend of horizontal well water-control completion technology for offshore oil field [J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(1): 86-89.

[8] ALKHELAIWI F T, DAVIES D R. Inflow control devices: application and value quantification of a developing technology [C]. SPE 108700, 2007.

[9] AL-AHMADI H A, AL-MUTARI S M. Effective water production control through utilizing ECP and passive ICD completion technologies: case histories [C]. SPE 120822, 2008.

[10] 陈献铭. 水平井 ICD 完井控水增油效果数值模拟研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
CHEN Xianming. Numerical simulation study on water control and oil increasing effect of horizontal well ICD completion [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2014.

[11] 吴振华, 高德利, 丁生. ICD 在曹妃甸油田水平井完井中的适用性研究[J]. 石油化工应用, 2012, 31(6): 5-9.
WU Zhenhua, GAO Deli, DING Sheng. Applicability of ICD in horizontal well completion in CFD oilfield [J]. Application of Petrochemical Industry, 2012, 31(6): 5-9.

[12] 付宣, 李根生, 崔明月, 等. 非均质底水油藏水平井 ICD 完井耦合模型与目标剖面计算方法[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(4): 27-32.
FU Xuan, LI Gensheng, CUI Mingyue, et al. Calculation method for ICD completion coupling model and target profile of horizontal wells in heterogeneous bottom water reservoir [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2015, 37(4): 27-32.

[13] 李冬梅, 帅春岗, 徐强, 等. 水平井 ICD 控底水完井优化研究[J]. 钻采工艺, 2012, 35(2): 45-47.
LI Dongmei, SHUAI Chungang, XU Qiang, et al. Study on optimization of ICD controlled bottom water completion in horizontal well [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(2): 45-47.

[14] OUYANG Liangbiao. Practical consideration of an inflow control devices: application for reducing water production [C]. SPE 124145, 2009.

[15] GARCIA G, CORONADO M. Identifying well completion applications for passive inflow control devices [C]. SPE

- 124349, 2009.
- [16] 刘均荣,于伟强. ICD/ICV 井下流量控制技术[J].石油矿场机械, 2013,42(3):1-6.
LIU Junrong, YU Weiqiang. Downhole inflow control technology with ICD/ICV [J]. Oil Field Equipment, 2013,42(3):1-6.
- [17] 良川,肖国华,王金忠,等. 冀东油田水平井分段控水配套技术[J].断块油气田,2010,17(6):655-658.
LIANG Chuan, XIAO Guohua, WANG Jinzhong, et al. Sectionalized water control matching technologic of horizontal well in Jidong oilfield [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2010,17(6):655-658.
- [18] 帅春岗,段永刚,冉林,等. 水平井 ICD 控水方法研究[J].石油钻采工艺,2012,34(1):85-88.
SHUAI Chungang, DUAN Yonggang, RAN Lin, et al. Research on the method of controlling bottom water with Inflow Control Devices (ICD) in horizontal well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(1):85-88.
- [19] 赵海峰,田建超,穆二飞,等. 水平井控水装置发展现状[J].石油矿场机械,2017,46(1):81-85.
ZHAO Haifeng, TIAN Jianchao, MU Erfei, et al. Developing situation of water control device in horizontal wells [J]. Oil Field Equipment, 2017,46(1):81-85.
- [20] 赵旭,姚志良,刘欢乐. 水平井调流控水筛管完井设计方法研究[J].石油钻采工艺,2013,35(1):23-27.
ZHAO Xu, YAO Zhiliang, LIU Huanle. Technical research on well completion design with Inflow Control Device (ICD) in horizontal wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013,35(1):23-27.
- [21] 安永生,张宁,张恒.水平井 ICD 控水完井一体化耦合数值模拟研究[J].中国海上油气,2017,29(2):109-113.
AN Yongsheng, ZHANG Ning, ZHANG Heng. Numerical simulation study on the coupling of horizontal wells with ICD water control completion [J]. China Offshore Oil and Gas, 2017,29(2):109-113.
- [22] 李还向,郑懿,王科萌,等. 陕北长9储层增油控水增产措施研究[J].油气井测试,2012,21(4):71-72.
LI Huanxiang, ZHENG Yi, WANG Kemeng, et al. Study of increasing production measure to increase oil and water control in Chang 9 reservoir of Shanbei areas [J]. Well Testing, 2012,21(4):71-72.
- [23] 单锋,陈军,李有伟,等. 碳酸盐岩超深超长水平井完井模拟通井技术[J].油气井测试,2015,24(1):54-56.
SHAN Feng, CHEN Jun, LI Youwei, et al. Simulation drift technology of well completion for long of ultra deep horizontal well with carbonate rock [J]. Well Testing, 2015,24(1):54-56.
- [24] 张丽平,高尚,刘长龙,等.水平井化学机械组合堵控水工艺及管柱分析[J].石油矿场机械,2018,47(3):50-53.
ZHANG Liping, GAO Shang, LIU Changlong, et al. Study and string analysis of plugging and controlling water technology by combining chemical method and mechanical method for horizontal wells [J]. Oil Field Equipment, 2018,47(3):50-53.
- [25] 饶富培,董云龙,吴杰生,等.大港油田底水油藏水平井控水完井工艺[J].石油钻采工艺,2010,32(3):107-109.
RAO Fupei, DONG Yunlong, WU Jiesheng, et al. Technology of water control and well completion of horizontal wells in bottom water reservoir in Dagang Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010,32(3):107-109.
- [26] 张磊,潘豪.稳油控水技术在底水油藏水平井开发前期设计中的应用[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2012,14(5):40-46.
ZHANG Lei, PAN Hao. Application of stabilizing oil production controlling water cut technique in horizontal well for pre-developing with bottom water reservoir [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2012,14(5):40-46.

编辑 穆立婷

第一作者简介:张启龙,男,1988年出生,硕士研究生,工程师,2015年毕业于中国石油大学(北京)油气井工程专业,目前主要从事完井、高压水射流等相关内容研究。电话:022-66501130,18811391400;Email:zhangql40@cnooc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区海川路2121号海洋石油大厦渤海石油管理局,邮政编码:300459。