



DOI: 10.11885/j.issn.1674-5086.2021.08.31.01

文章编号: 1674-5086(2024)01-0097-08

中图分类号: TE35

文献标志码: A

小角度燕尾型同层侧钻水平井分段控水策略

唐晓旭^{1*}, 裴柏林², 赵威²

1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 滨海新区 300452

2. 安东柏林石油科技(北京)有限公司, 北京 昌平 102200

摘要: 渤海油田高含水低产低效的井逐渐增多, 部分区块产量递减快。同层侧钻水平井技术搭配分段控水完井是治理高含水低产低效井的有效手段, 但小角度燕尾型同层侧钻水平井应用分段控水完井后未见到控水效果。为此, 通过建立理论模型分析发现此类井分段控水失效原理, 确定了原井眼的“空腔”是分段控水技术在此类井上适应性差的主控因素。在考虑可行性及经济性等因素后, 调整现阶段的钻完井思路, 提出了水平段延伸与优化完井管柱配管的综合钻完井改进策略, 并对该策略的有效性进行了矿场试验验证。试验井控水效果远超预期, 投产 164 d 仍未见水, 无水期累产油高达 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该策略在目标井控水效果显著的同时, 单井建井成本增幅仅为 8.8%, 为后续类似低产低效井治理提供思路及技术储备。

关键词: 低产低效井; 同层侧钻技术; 分段控水技术; 水平井控水; 钻完井策略优化

Segmented Water Control Strategy for Small-angle Swallowtail Sidetracked Horizontal Wells in the Same Layer

TANG Xiaoxu^{1*}, PEI Bailin², ZHAO Wei²

1. Tianjin Branch, CNOOC China Limited, Binhai New Area, Tianjin 300452, China

2. Anton Bailin Petroleum Technology (Beijing) Co. Ltd., Changping, Beijing 102200, China

Abstract: In Bohai Oilfield, the number of wells with high water cut, low production and low efficiency has gradually increased, and the production of some blocks has declined rapidly. Sidetracking in the same layer with segmented water control completion was an effective method to tackle high water cut, low production and inefficient wells. Whereas, the effect of water control was not significant for small-angle swallowtail sidetracked horizontal wells with segmented water control technique. The theoretical model was build to find the reason why the effect of water control failed and it was found out that the original wellbore of this type of wells played the main role in this failure. After considering factors such as feasibility and economics, adjusted on existing drilling and completion method, a comprehensive drilling and completion improvement strategy featuring horizontal section extension and piping optimization for completion string was proposed, and the effectiveness of this strategy was verified in the field. The water control effect was much better than expected, no water production has been witnessed 164 d after commissioning, and the cumulative oil production in water free was as high as $15\ 000 \text{ m}^3$. The target well adopting the new strategy achieved significant water control effect, while the cost of single well construction increased by only 8.8%. It provides ideas and technical reserves for the follow-up treatment of similar low production and low efficiency wells.

Keywords: low production and low efficiency well; sidetracked technique in the same layer; segmented water control technique; horizontal well water control; optimization on drilling and completion strategy

网络出版地址: <http://link.cnki.net/urlid/51.1718.TE.20240116.1044.008>

唐晓旭, 裴柏林, 赵威. 小角度燕尾型同层侧钻水平井分段控水策略[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2024, 46(1): 97-104.

TANG Xiaoxu, PEI Bailin, ZHAO Wei. Segmented Water Control Strategy for Small-angle Swallowtail Sidetracked Horizontal Wells in the Same Layer[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2024, 46(1): 97-104.

* 收稿日期: 2021-08-31 网络出版时间: 2024-01-17

通信作者: 唐晓旭, E-mail: tangxx@cnooc.com.cn

引言

渤海油田是中国最大的海上油气田,年产油气当量达 $3\,680\times 10^4$ t,已逐渐发展成为全国第三大产油基地。许多区块出现因油井高含水、出砂和泥堵等而引发的油井低产低效问题,导致区块产量快速递减^[1-4]。同层侧钻水平井技术是一种低成本钻取新井眼从而解决油井低产低效问题的有效手段,通过在新井眼的完井方式上兼顾考虑控水、防砂、防泥堵等需求,可以有效保障新钻井眼长期稳定生产。据统计,近三年来渤海油田利用老井实施侧钻的井数逐年增多,占调整井比例达 60%~80%^[5]。连续封隔体综合完井技术(封隔体颗粒+ICD 筛管)作为一项兼顾控水、防砂和防泥堵等功能的创新型完井技术,自 2012 年开始在各陆地和海上油田开展现场试用,由于其效果显著,随即在各大油田得到了应用与推广^[6-16]。截至目前,在渤海油田共应用了近 30 井次(含同层侧钻水平井),所有井均防砂、防泥堵效果明显,大部分井控水增油效果明显,但在同层侧钻水平井中控水增油效果不明显(仅 3 口效果突出)。通过对比分析发现,侧钻前后的新老井眼之间有明显的相似特征:1) 侧钻后(新)井眼与侧钻前(原)井眼呈现 A 靶点重叠 B 靶点相近的相对位置特征,两条井轨迹形成的夹角很小(约 $3^\circ\sim 10^\circ$)。2) 侧钻后(新)井眼水平段与侧钻前(原)井眼水平段长度基本相同。本文将图 1 所示具有这种特征的侧钻水平井称为小角度燕尾型同层侧钻水平井(简称小燕尾井,下同)。

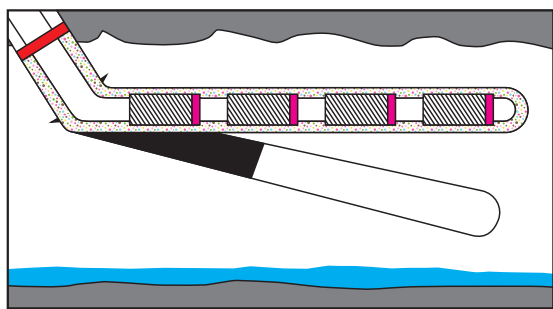


图 1 小角度燕尾型同层侧钻井水平段井轨迹与原井眼水平段井轨迹位置关系示意图

Fig. 1 View of the positional relationship between the horizontal trajectory of the small-angle swallowtail sidetracked well and that of the original wellbore

目前,对于小燕尾井采用的控水方式与常规水平井常用的控水方式并无差异:1) 机械分段控水,在完井阶段下入相应的控水管柱和分段工具,如

ICD 或 AICD 组成的控水管柱,搭配封隔器或者颗粒型环空封隔固相材料等环空分段工具。2) 化学堵水,在油井生产进入高含水阶段后注入化学堵剂,对高渗段(高出水段)进行封堵,减少高渗段的产出。本文主要分析小燕尾井机械控水失效原因,提出新的针对小燕尾井的机械控水策略,通过矿场试验验证该策略的正确性,研究结果对于类似小燕尾井高含水治理有着重要的意义。

1 小燕尾井分段控水失效原因

小燕尾井分段控水失效的主要原因是其自身井型对现阶段主流水平井分段机械控水技术适应性较差。现阶段水平井分段机械控水的主要原理是利用控水管柱(如 ICD 或 AICD)与分段工具(如封隔体颗粒或封隔器)解决油井水平段产液剖面不均衡的问题,从而达到控水的目的。这种分段控水方式对油井提出了 3 大适应性要求:1) 油井水平段各生产段之间地层物性有明显差异,即地层有较强的非均质性。2) 油水黏度有明显差异,即相同地层物性条件下,油水流动能力差异很大。3) 各生产段物性差异及油水黏度差异导致油井水平段产液剖面不均衡。此类油井水平段各生产段对应的地层中油水前缘推进的速度明显不一致,存在油水前缘局部高速推进的现象,导致油井生产段出现局部产水问题。因此,在目标井的静态地质油藏流体参数满足油井产液剖面不均匀特征前提下,该技术在小燕尾井中分段控水失效的主要原因是存在某种因素导致原本不均匀的地层产液剖面被均匀化。

非均匀产液剖面被均匀化往往是由窜流引起的,窜流方式通常包括两种:1) 井筒内窜流,通常表现为在分段控水技术中分段失效。如划分生产层段用的封隔器坐封不到位导致分段失效,或封隔体颗粒在井筒内充填率未达到 100% 导致分段失效。2) 近井地带的地层窜流,近井地带或井周存在平行于井筒的高渗条带或空腔,导致流体流入井筒前在窜槽处扩散开后均匀地向井筒流动。受原井眼弃井工艺的影响,小燕尾井天生存在平行于井筒的近井地带窜槽(见图 2,原井眼的“空腔”)。近井地带窜槽对小燕尾井分段控水的影响主要有以下 3 点:1) 高动用程度导致小燕尾井近井地带产水段地层占比大幅度提高,造成小燕尾井钻后生产段出现

大段水淹的情况,产液剖面不均匀性被明显弱化。2) 窜槽放大水线,当小燕尾井投产后拉动油水前缘到窜槽处时,点状见水被放大成为线状见水,造成小燕尾井均匀见水。3) 窜槽充当有储水功能的水源井对侧钻井进行源源不断的均匀供给,形成了一个均匀推进的水线,再次将小燕尾井本身不均匀的产液剖面均匀化。

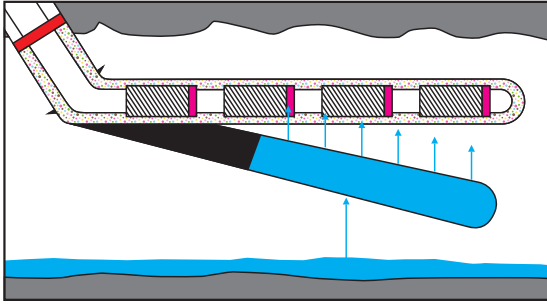


图 2 原井眼窜槽对侧钻井影响示意图

Fig. 2 Schematic of impact of original wellbore channeling on sidetracked well

建立一个如图 3 所示的原井眼窜槽模型,假设小燕尾井水平段各处与供给边界距离相等,将原井段和小燕尾井水平段分成 n 段,每段内流体沿着固定渗流路径从供给边界渗流至井筒,每个渗流通道内的流体运动均满足达西定律。小燕尾井井筒内采用连续封隔体技术完井,每个井段一根 ICD 筛管,对应一个生产单元,每根 ICD 筛管的 ICD 阀规格参数都一样,环空采用封隔体颗粒进行分段。

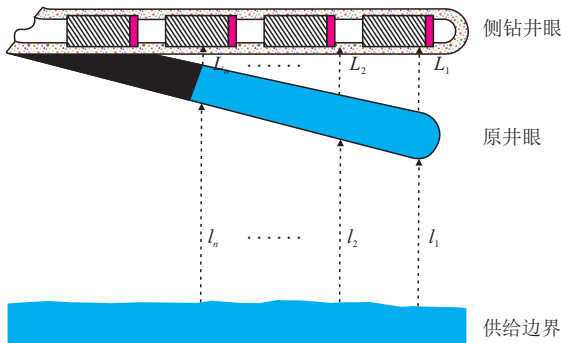


图 3 原井眼窜槽对侧钻井影响理论分析模型

Fig. 3 Theoretical analysis model of impact of original wellbore channeling on sidetracked well

显然,供给边界到原井眼的距离远大于原井眼到小燕尾井的距离

$$l_i \gg L_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: l_i —供给边界到第 i 段原井眼的距离, m;

L_i —第 i 段原井眼到小燕尾井眼的距离, m;

n —总段数。

因此,流体从供给边界渗流到原井眼的压降远大于流体从原井眼渗流到小燕尾井的压降

$$p_i \gg p'_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中: p_i —从供给边界到第 i 段原井眼的压降, MPa;

p'_i —第 i 段原井眼到小燕尾井眼的压降, MPa。

对小燕尾井来讲,生产压差等于单段对应的生产单元内流体从供给边界渗流到原井眼消耗的压降与从原井眼渗流到小燕尾井环空所消耗的压降之和

$$\Delta p_{ra,i} = p_i + p'_i \quad (3)$$

式中: $\Delta p_{ra,i}$ —第 i 个生产单元的生产压差, MPa。

在生产压差组成里,流体从原井眼渗流到小燕尾井环空所产生的压降几乎可以忽略不计。此时,流体在老井眼中聚集,重新分配后流入小燕尾井井筒,流经每个渗流通道的流量几乎相同,小燕尾井的井筒产液剖面则趋近均匀。从小燕尾井环空到筛管内部,每个 ICD 阀的过流量也基本相同,相同规格的 ICD 在相同过流量下产生的压力消耗也几乎一样。此时,第 i 个生产单元从供给边界到筛管内部的视压降为

$$\Delta p_{rw,i} \approx \Delta p_{ra,i} + \Delta p_{icd,i} \quad (4)$$

式中: $\Delta p_{rw,i}$ —第 i 个生产单元从供给边界到筛管内部的视压降, MPa;

$\Delta p_{icd,i}$ —第 i 个生产单元对应的 ICD 压降, MPa。

从单个生产单元外推到整个生产段,当地层液剖面完全均匀时,生产单元的产液量都一致,有

$$\Delta p_{rw} \approx \Delta \bar{p}_{ra} + \Delta \bar{p}_{icd} \quad (5)$$

式中: Δp_{rw} —产液剖面均衡条件下油井的视压降, MPa;

$\Delta \bar{p}_{ra}$ —产液剖面均衡条件下的地层压降, MPa;

$\Delta \bar{p}_{icd}$ —平均流量下的 ICD 压降, MPa。

在相同产液量条件下,如果地层产液剖面不完全均匀,即出现液量集中在局部生产段,一部分生产段液量高,而另一部分生产段液量低,但各段平均液量依旧保持不变。此时,受控水系统的均衡流量作用,高液量段在 ICD 上消耗的压降呈指数上升,同时,由于高渗段液量大于生产段平均液量,因此,相较于产液剖面均匀状态下,地层上消耗的压降增加,则导致油井视压降会变大,有

$$\begin{cases} \Delta p'_{rw} \approx \Delta p_{rah} + \Delta p_{icdh} \\ \Delta p_{rah} = \Delta \bar{p}_{ra} + \Delta p_{c1} \\ \Delta p_{icdh} = \Delta \bar{p}_{icd} + \Delta p_{c2} \end{cases} \quad (6)$$

式中： $\Delta p'_{rw}$ —产液剖面不均衡条件下油井的视压降，MPa；
 Δp_{rah} —产液剖面不均衡时最高产液段对应地层上消耗的压降，MPa；
 Δp_{icdh} —产液剖面不均衡时最高产液段对应 ICD 上消耗的压降，MPa；
 Δp_{c1} —产液剖面不均衡时最高产液段地层上压降消耗的增幅，MPa；
 Δp_{c2} —产液剖面不均衡时最高产液段 ICD 上

压降消耗的增幅，MPa。
此时，在油井中应用这种分段控水技术，若集中流量压降($\Delta p_{c1} + \Delta p_{c2}$)越大，表明实际地层在受到均衡流量作用之前的产液剖面不均匀程度越强，这类压降可称之为由流量集中而引起的附加压降；集中流量压降最小为 0 时，表示实际地层在受到均衡流量作用之前的产液剖面完全均匀，即存在某种因素弱化了油井近井地带的产液剖面的非均匀性。
为验证上述理论模型，以 3 口应用连续封隔体综合完井技术(ICD 筛管 + 封隔体颗粒)进行分段控水的小燕尾井的参数为例进行计算(表 1)，3 口井的 ICD 阀在水平段均匀分布且规格相同。

表 1 未见效井集中流量压降计算结果
Tab. 1 Calculation results of concentrated flow pressure dropdown in unsuccessful wells

井号	视压降/MPa	产液剖面均衡条件下地层压降/MPa	平均流量下的 ICD 压降/MPa	集中流量压降/MPa	集中流量压降占比/%	备注
X11H1	6.58	3.23	2.92	0.43	6.52	
X24H1	3.51	2.32	2.27	-1.08	-30.79	负表皮影响
X25H1	3.43	2.64	2.78	-2.00	-58.29	负表皮影响

计算发现，3 口未见效井在工艺顺利的情况下无法有效憋起集中流量压降，其未见效的原因为原井眼的作用下将小燕尾井的产液剖面提前均匀了，使得分段控水未发挥作用。非均质性及油水黏度差造成的井壁产液剖面不均匀是分段控水类技术发挥作用的决定性因素。

2 小燕尾井分段控水策略

为了解决小燕尾井分段控水难题，需要让小燕尾井重新满足分段控水的必要条件，恢复到原始产液剖面不均匀的状态。从工程的角度出发，其解决思路主要有两种：1) 消除造成产液剖面提前均匀的不利因素，如使用固相封堵材料对原井眼实施 100% 井筒体积的彻底封堵，彻底消除窜槽带来的影响。2) 制造新的产液剖面不均匀，并对全井段 ICD 控流强度进行合理化配置。本文中重点讨论第二种思路。
第二种思路中有 3 个具体的实施手段。1) 改变钻井策略。在油藏地质及钻完井条件允许的情况下，增大侧钻井眼与原井眼之间的夹角，同时增加侧钻井眼长度，使得两口井 B 靶点之间的距离变大，从而减少原井眼对侧钻井眼的影响。两井轨迹的相对位置如图 4 所示，保证轨迹重叠段尽可能短，

保证轨迹错位段尽可能长，使得侧钻井水平段恢复非均质性。同时，轨迹重叠段含水率较高，轨迹错位段含水率较低，使得侧钻井呈局部见水特征，提高其对分段控水技术的适用性。2) 优化控水管柱的搭配。在轨迹重叠段的小燕尾井内下入盲管，进一步缩小局部出水段的长度，在轨迹错位段下入控流强度从跟端到趾端依次由强到弱的 ICD 筛管，同时通过盲管、强控流 ICD 筛管及弱控流 ICD 筛管的差异化控制促使入井水流线绕流从而提高水驱波及效率。3) 在侧钻井眼水平段环空充入封隔体颗粒或下入多个封隔器进行分段，实现长期有效的全井段分段治理以及轨迹重叠段与轨迹错位段之间的有效封隔。

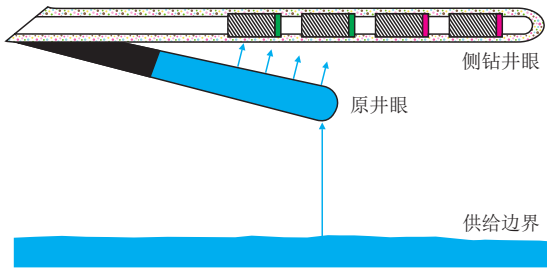


图 4 新钻井策略下的小燕尾井井轨迹与原井眼井轨迹俯视图
Fig. 4 Top view of small swallowtail well trajectory and the original wellbore trajectory in new drilling strategy

第二种思路的实施手段优势有以下 3 点：1) 轨

迹错位段距离原井眼较远,受原井眼水窜的影响有限。2)在趾端延伸和配管优化的作用下,实现了小燕尾井在受原井眼水窜影响大的重叠段无产出,从而弱化了原井眼的影响,同时,原井眼窄槽里的水对小燕尾井错位段的影响属于方向性来水,符合连续分段控水技术见效的必要条件,加强了其控水效果。3)未改变同层侧钻的钻井方式,因而未增加工程施工难度,很好地控制了钻井成本。

3 矿场试验

A36H1井是渤海油田某区块的一口水平井,采用优质筛管防砂,裸眼完井。该井于2010年1月投产,在生产过程中出现防砂失效、堵塞及高含水等问题,最终导致该井低产低效。该井关井前日产液 176 m^3 ,日产油 6 m^3 ,含水率96.6%,累计产油 $17.70\times 10^4\text{ m}^3$ 。为提高目标砂体产量和采收率,拟采用裸眼段同层侧钻方式部署一口调整井A36H1井进一步挖潜目标砂体剩余油。同时,由于A36H井存在防砂失效、堵塞及高含水等问题且A36H井

与A36H1井位置接近,拟采用具有防砂控水防堵一体化功能的连续封隔体工艺对A36H1进行完井。考虑到小燕尾井采用类似分段控水技术存在适应性差的问题,在部署调整井时,将小燕尾井水平段延长与原井眼轨迹形成错位的关系。

A36H1井水平段实钻井段为 $[1\ 987, 2\ 315]\text{ m}$,其中,与老井眼轨迹重叠段为 $[1\ 987, 2\ 130)\text{ m}$,共 143 m ;与老井眼轨迹错位段为 $[2\ 130, 2\ 315]\text{ m}$,共 185 m 。A36H1井实钻井轨迹与A36H实钻井轨迹在轨迹重叠段的中心距小于 8 m 。A36H1井从测深为 $2\ 130\text{ m}$ 处继续向外延伸 185 m ,至 $2\ 315\text{ m}$ 处。

随钻测井数据显示,在A36H1井钻进的过程中,随钻测井电阻值由低到高逐渐变化,且轨迹重叠段与轨迹错位段存在明显分界点,见图5。结合目标井电阻的变化及其井轨迹与原井眼井轨迹重叠错位关系,将目标井分成3段:1) $[1\ 987, 2\ 073)\text{ m}$ 井段,采用盲段对低电阻段进行封堵。2) $[2\ 073, 2\ 130)\text{ m}$ 井段,采用强控流强度的ICD进行控制。3) $[2\ 130, 2\ 313]\text{ m}$ 井段,采用弱控流强度的ICD进行控制。该井下部完井井身结构见图6。

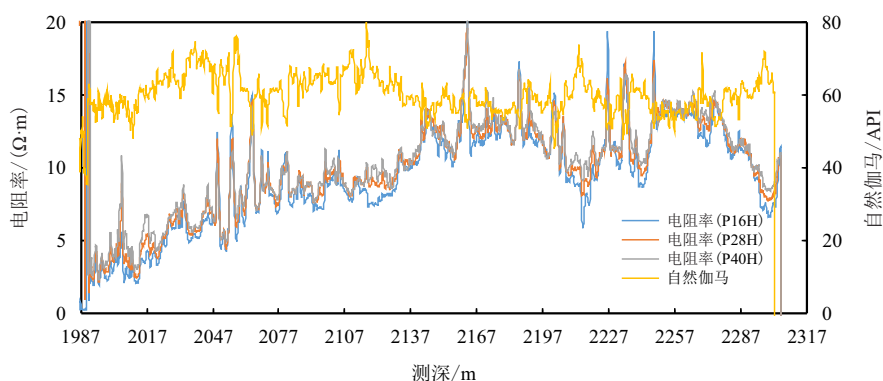


图5 A36H1井电阻及自然伽马测井曲线

Fig. 5 Resistivity and GR logs of Well A36H1

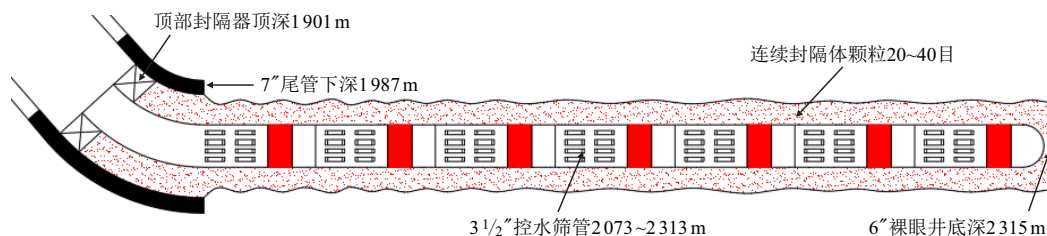


图6 A36H1井下部完井井身结构图

Fig. 6 Wellbore schematic of lower completion for Well A36H1

在目标井实际施工过程中,顶部悬挂封隔器下入深度为 $1\ 901\text{ m}$,在 $[1\ 901, 2\ 073)\text{ m}$ 井段处下入 $3\frac{1}{2}''$ ($1''=2.54\text{ cm}$)盲管,在 $(2\ 073, 2\ 313]\text{ m}$ 井段处

按照配管建议依次下入不同控流强度的ICD控水筛管。在充填过程中累计加砂量 3.70 m^3 ,充填结束后反洗出砂量 0.05 m^3 ,实际环空充填砂量 3.65 m^3 ,

充填率为 112.5%, 环空充填紧实。

4 措施效果分析

A36H1 井于 2021-06-21 启泵投产, 投产初期日产油量 72~135 m³, 含水率 2.7%, 连续 164 d 含水率低于 4.0%, 远高于配产要求(日产油 30~40 m³, 含水率 80.0%)。

在应用连续封隔体技术的小燕尾井中进行侧钻前后的生产状态对比, 发现错位程度对侧钻前后的油井含水变化有一定的影响, 见图 7。

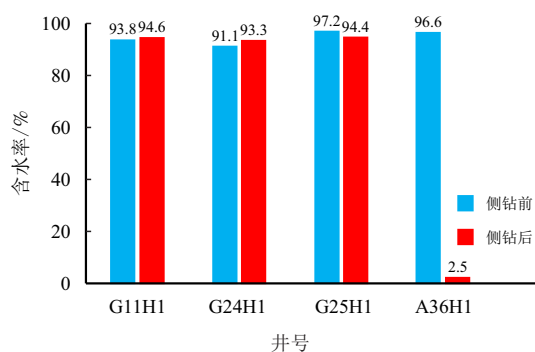


图 7 侧钻前后油井含水变化

Fig. 7 Variation water cut before and after sidetracking

由图 7 可见, 在井轨迹未错位小燕尾井 G11H1 与 G24H1 中, 侧钻前后含水接近, 且侧钻后较侧钻前含水略有上升; 在井轨迹错位程度较小且未优化配管的小燕尾井 G25H1 中, 侧钻后较侧钻前含水有较大幅度的下降; 而在井轨迹错位程度高且优化配管的小燕尾井 A36H1 中, 侧钻后较侧钻前含水有较大程度的下降。

横向比较应用连续封隔体技术的小燕尾井的长期生产情况发现, 在相同累计产油量条件下, 井轨迹与原井眼基本完全重叠或重叠段占比程度低的小燕尾井在应用连续封隔体技术后, 含水远高于井轨迹与原井眼错位段占比程度高的井, 且错开后小燕尾井存在较长的无水采油期, 见图 8。

A36H1 井在生产一段时间后主动降频维持生产效果, 产液量为 79 m³/d, 依旧基本不含水。此时, 总生产压差为 1.66 MPa, 地层上消耗的压降为 0.70 MPa。根据 ICD 阀的参数计算, 平均流量下的 ICD 压降为 0.16~0.33 MPa, 集中流量压差为 0.63~0.80 MPa, 占总压降的 37.96%~48.15%, 相比于未见效井, 集中流量压差占比有着明显提高, 证明连续封隔体技术在油井中发挥了均衡流量的作用。同

时, 与前文提到的未见效井对比, 也证明通过增大错位段占比及优化配管措施可以有效降低窜流对小燕尾井的影响, 保证了分段控水技术在小燕尾井中的降水增油作用。

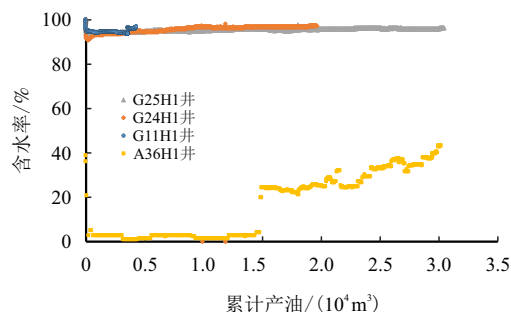


图 8 小燕尾井累油含水曲线对比曲线

Fig. 8 Relationship of cum oil and water cut for small swallowtail well

5 经济性分析

以目标 A36H1 为例, 水平段长度为 328 m, 新的钻完井策略在井轨迹完全重叠之外的部分将小燕尾井水平段长度向外多延伸了 185 m。水平段延伸在钻井成本方面增加 50 万元左右^[17-21], 采用连续封隔体技术后, 完井成本相较于原策略的砾石充填增加约 100 万元。原策略单井建井成本约 1 700 万元, 新策略增加建井成本 150 万元左右, 建井成本增幅约为 8.8%。由目标井生产动态可知, 目标小燕尾井在投产 164 d 后累计产油达 1.5×10⁴ m³, 收入可达 4 860 万元(油价按 50 美元/桶, 汇率按 1 USD=6.48 CNY), 考虑其他管理成本及各种税费, 单井建井投资回收期仅 3 个月。新策略单井建井成本增加幅度小, 投资回收期短, 效果显著, 值得推广。

6 结 论

1) 同层侧钻技术是有效的低产低效井治理的钻井技术, 连续封隔体技术是有效的防治低产低效问题的完井技术。但在与原井眼等长的小角度燕尾型同层侧钻井中, 常规配管方式的连续封隔体工艺无法有效地发挥控水效果。

2) 在连续封隔体技术未见效的 3 口小燕尾井中, 各井集中流量压差占比很低, 说明在工艺施工顺利的前提下, 小燕尾井近井地带或井周存在地层窜流, 破坏了小燕尾井原本非均匀的产液剖面, 使该井无法满足连续封隔体技术的适应性条件。

3) 通过对小燕尾井侧钻方式细微的调整,在两井轨迹上形成一定长度的错位段,从而获得未被原井眼影响的生产段;同时,对连续封隔体工艺中的配管进行优化,削弱原井眼对错位生产段的窜流影响。此双重策略的调整使得连续封隔体技术在此类型井中恢复了控水增油的效果,矿场试验也验证了该策略的有效性。

4) 新的钻完井策略在效果上得到印证的同时钻完井成本增幅有限。单井建井成本仅增加约8.8%,且按照目前的生产状况,目标井将在投产后仅3~4个月即可收回建井成本。此方法针对此类井控水有效且具有较好经济性,为渤海油田高含水低产低效井治理提供了新的思路。

参考文献

- [1] 王晓鹏,韩耀图.渤海油田低效井侧钻技术应用前景分析[J].非常规油气,2015,2(5):61-65.
WANG Xiaopeng, HAN Yaotu. Application prospect of sidetrack drilling technology for inefficient wells in Bohai Oilfield[J]. Unconventional Oil & Gas, 2015, 2(5): 61-65.
- [2] 和鹏飞,袁则名.海洋油气开采低产水平井同层侧钻技术的分析与实践[J].海洋工程装备与技术,2017,4(2):69-73. doi: 10.3969/j.issn.2095-7297.2017.02.002
HE Pengfei, YUAN Zeming. Application of sidetracking technology to same layer inefficient wells in offshore oil and gas exploitation[J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2017, 4(2): 69-73. doi: 10.3969/j.issn.-2095-7297.2017.02.002
- [3] 赵少伟,范白涛,杨秋荣,等.海上油气田低效井侧钻技术[J].船海工程,2015,44(6):144-148. doi: 10.3963/j.issn.1671-7953.2015.06.034
ZHAO Shaowei, FAN Baitao, YANG Qiurong, et al. On side tracking technology in inefficient well in Bohai reservoir[J]. Ship & Ocean Engineering, 2015, 44(6): 144-148. doi: 10.3963/j.issn.1671-7953.2015.06.034
- [4] 邓建明.渤海油田低产低效井综合治理技术体系现状及展望[J].中国海上油气,2020,32(3):111-117. doi: 10.11935/j.issn.1673-1506.2020.03.013
DENG Jianming. Status and prospect of comprehensive treatment technologies for low production and low efficiency wells in Bohai Oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(3): 111-117. doi: 10.11935/j.issn.1673-1506.2020.03.013
- [5] 王占领,陈立强,吴占民,等.渤海油田油气井侧钻设计方法优化分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):36-41,48. doi: 10.12143/j.tkgc.2020.02.005
WANG Zhanling, CHEN Liqiang, WU Zhanmin, et al. Optimization design method for sidetracking wells in Bohai Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 36-41, 48. doi: 10.12143/j.-tkgc.2020.02.005
- [6] 孟祥娟,陈德飞,刘举,等.水平井颗粒充填调流控水完井技术及试验[J].承德石油高等专科学校学报,2020,22(4):35-40. doi: 10.3969/j.issn.1008-9446.2020.04.009
MENG Xiangjuan, CHEN Defei, LIU Ju, et al. Field application of gravel-packing completion screens with inflow control device in horizontal wells[J]. Journal of Chengde Petroleum College, 2020, 22(4): 35-40. doi: 10.3969/j.-issn.1008-9446.2020.04.009
- [7] 谢日彬,李海涛,杨勇,等.礁灰岩油田水平井微粒充填ICD均衡控水技术[J].石油钻采工艺,2019,41(2):160-164. doi: 10.13639/j.odpt.2019.02.007
XIE Ribin, LI Haitao, YANG Yong, et al. Particle filling based ICD isostatic water control technology used for horizontal wells in limestone reef oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(2): 160-164. doi: 10.-13639/j.odpt.2019.02.007
- [8] 赵旭,龙武,姚志良,等.水平井砾石充填调流控水筛管完井技术[J].石油钻探技术,2017,45(4):65-70. doi: 10.11911/syztjs.201704011
ZHAO Xu, LONG Wu, YAO Zhiliang, et al. Completion techniques involving gravel-packing inflow-control screens in horizontal wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(4): 65-70. doi: 10.11911/syztjs.201704-011
- [9] PEI Bailin, CHEN Bo, LONG Wu, et al. Continuous pack-off completion reduces water in horizontal oil well[J]. Oil and Gas Journal, 2017, 115(5): 52-57.
- [10] LI Feng, LI Xiaoping, PEI Bailin, et al. Continuous pack-off inflow control device lowers water cut offshore China[J]. Oil and Gas Journal, 2018, 116(4): 56-59.
- [11] XIE Ribin, LI Haitao, LI Feng, et al. CNOOC advances water control in South China Sea[J]. Oil and Gas Journal, 2019, 11(5): 40-43.
- [12] LUO Donghong, DAI Zong, WANG Yahui, et al. Successful application analysis of double water control in fractured reef reservoir in Liuhua Oilfield[C]. SPE 199296-MS, 2020. doi: 10.2118/199296-MS
- [13] XIONG Shuquan, LI Fan, CHENG Chuchuan, et al. Advances in applying continuous pack-off inflow control device for a water and sand control reservoir in South China Sea[C]. OTC 30327-MS, 2020. doi: 10.4043/30327-MS

- [14] 李中, 邱浩, 文敏, 等. 潜山裂缝气藏连续封隔体复合控水实验评价: 以 HZ 凝析气田为例[J]. 断块油气田, 2022, 29(6): 837–841. doi: 10.6056/dkyqt202206018
LI Zhong, QIU Hao, WEN Min, et al. Experimental evaluation of composite water control for continuous packer in buried hill fractured gas reservoir: A case study of HZ condensate gas field[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2022, 29(6): 837–841. doi: 10.6056/dkyqt202206018
- [15] 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. doi: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.02.-011
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. doi: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.02.011
- [16] 张宁. 双重模式集成控水技术在海上油田的研究与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(12): 151–154, 156. doi: 10.3969/j.issn.1673-4076.2021.12.-074
ZHANG Ning. Research and application on dual mode integrated water control technology in offshore oil fields[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2021, 41(12): 151–154, 156. doi: 10.3969/j.issn.1673-4076.2021.12.074
- [17] 张羽臣, 李巍然, 刘长柱, 等. 同层侧钻水平井技术在埕北油田的应用[J]. 钻采工艺, 2019, 42(1): 17–20. doi: 10.3969/J.ISSN.1006-768X.2019.01.06
ZHANG Yuchen, LI Weiran, LIU Changzhu, et al. Application of horizontal well sidetracking at the same layer in Chengbei Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(1): 17–20. doi: 10.3969/J.ISSN.1006-768X.2019.01.06
- [18] 李瑞峰, 林俊文, 张浩. 渤海某油田水平井裸眼同层侧钻技术应用[J]. 海洋石油, 2018, 38(1): 69–71, 81. doi: 10.3969/j.issn.1008-2336.2018.01.069
LI Ruifeng, LIN Junwen, ZHANG Hao. Application of sidetracking technology at the same layer in horizontal well in Bohai Oilfield[J]. Offshore Oil, 2018, 38(1): 69–71, 81. doi: 10.3969/j.issn.1008-2336.2018.01.069
- [19] 吴占民, 王占领, 王赞, 等. 海上同层侧钻井实施方案优选方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(7): 41–43. doi:10.3969/j.issn.1672-7428.2018.07.010
WU Zhanmin, WANG Zhanling, WANG Zan, et al. Optimization method for offshore same layer sidetracking scheme[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(7): 41–43. doi: 10.3969/j.issn.1672-7428.2018.07.010
- [20] 王恒. 裸眼侧钻关键技术的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(10): 26–29. doi:10.-3969/j.issn.1672-7428.2011.10.008
WANG Heng. Research on key technology of sidetracking in open hole and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(10): 26–29. doi:10.3969/j.issn.1672-7428.2011.10.008
- [21] 罗鸣, 顾纯巍, 杜威. 半潜式钻井平台水平井裸眼侧钻技术[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(3): 20–22. doi: 10.13639/j.odpt.2014.03.005
LUO Ming, GU Chunwei, DU Wei. Sidetracking technology for horizontal open hole on semi-submersible drilling platforms[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(3): 20–22. doi: 10.13639/j.odpt.2014.03.005

作者简介



唐晓旭, 1971 年生, 男, 汉族, 吉林公主岭人, 高级工程师, 硕士, 主要从事油田开发、采油工艺研究和技术管理工作。E-mail: tangxx@cnooc.com.cn



裴柏林, 1959 年生, 男, 汉族, 四川南充人, 副教授, 博士, 主要从事水平井控水、防砂等方面的研究。E-mail: pbl@antonbailin.com



赵威, 1993 年生, 男, 汉族, 湖北监利人, 硕士, 主要从事水平井控水、防砂等方面的研究。E-mail: zw@antonbailin.com

编辑: 王旭东

编辑部网址: <http://zk.swpxb.com>