

文章编号: 1001-6112(2011)S1-0095-04

# 塔河碎屑岩底水油藏“疏堵结合”控水新思路

李建力<sup>1</sup>, 边青兰<sup>2</sup>, 何 龙<sup>2</sup>, 李 军<sup>1</sup>, 余 璐<sup>1</sup>

(1. 中国石化 西北油田分公司 塔河采油一厂, 新疆 轮台 841600; 2. 中国石化 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**针对塔河碎屑岩底水油气藏水侵(水锥和水窜)难以控制的问题, 提出“疏堵结合”标本兼治的控水思路, 即在打开上部油层的基础上, 射开油水界面以下水层, 通过油水同步分采, 改变井筒周围水锥方向和水锥速度, 根据地质特征和水窜情况, 选择性配套“隔板”堵水作业。通过 2 种工艺有机结合实现抑制水侵, 达到油水界面相对均匀的缓慢抬升的目的。从油藏、工艺 2 方面进行了可行性的论证, 提出“疏堵结合”技术的关键点。

**关键词:**底水油藏; 水锥; 水窜; 控水; 波及系数; 采收率

**中图分类号:** TE35

**文献标识码:** A

## New method of water control combining oil—water simultaneous production with water shutoff in clastic bottom-water reservoirs, Tahe Oil Field

Li Jianli<sup>1</sup>, Bian Qinglan<sup>2</sup>, He Long<sup>2</sup>, Li Jun<sup>1</sup>, Yu Lu<sup>1</sup>

(1. No. 1 Tahe Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841600, China;  
2. SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** In clastic bottom-water reservoirs of the Tahe Oil Field, water invasions (water cones and breakthroughs) are problems difficult to solve. A new method of water control combining oil—water simultaneous production with water shutoff was proposed. First, we opened the upper oil-bearing layer. Second, we perforated into the bottom water layer. Oil and water were produced simultaneously, changing the direction and speed of water cones around well bore. Based on geologic characteristics and water breakthroughs, we used plugging agent to shut water off selectively. Combining these two methods, we controlled water invasions and raised oil—water interface evenly and slowly. Feasibility of the new method was discussed from accumulation and technique aspects, and the key factors were pointed out.

**Key words:** bottom-water reservoir; water cone; water breakthrough; water control; sweep efficiency; recovery ratio

底水油藏开发过程中, 底水侵入井筒主要包括“锥进”和“窜进”2 种形式。在水平井中, 由于水锥呈脊形上升也称为“水脊”。水侵导致油井含水迅速上升, 直至水淹, 严重降低底水波及系数, 影响油藏的最终水驱采收率。

塔河碎屑岩油藏属于底水油藏, 水侵现象普遍, 严重影响采收率的提高。高含水已成为现阶段塔河油田开发面临的重要难题之一。针对常规手段难以充分治理的现状, 本文创造性地提出“疏堵结合”、标本兼治的治水理念。

### 1 塔河碎屑岩底水油藏水侵治理现状

塔河油田碎屑岩油藏三叠系中、下油组底水能

量充足, 水油体积比达到 100 倍以上, 无边水能量或仅弱边水能量供给, 以天然底水能量开发为主, 生产过程中易发生水侵。

针对底水水锥和水窜问题, 主要有降低采油速度、提高避水、打隔板堵水、笼统堵水治理 4 种常规治理方法, 通常在高含水开发期以堵水治理为主。由于堵水本身的技术难题, 加之塔河碎屑岩高温高盐超深井的苛刻油藏条件, 堵水存在以下问题: (1) 在非均质储层中, 水侵形态、剩余油分布特征和堵剂展布规律复杂, 难以建立较为精确的水侵和卡堵水模型, 无法合理优化封堵范围。堵剂用量不足则底水迅速绕行, 用量过大则易将油水通道全部堵死, 造成后期供液严重不足。(2) 管外窜、水平井全

井射开或筛管完井等复杂井筒条件下,卡堵水技术实施难度大,单纯依赖化学笼统挤堵,作业风险高,易污染潜力层段。(3)苛刻的油藏条件限制了堵剂适用范围,常规强选择性堵剂如冻胶、泡沫、乳化稠油等受耐温、耐盐、耐压性能制约,难以广泛适用。所用堵剂注入性差,选择性不足,储层伤害风险大。

总体来看碎屑岩油藏堵剂性能上有待优选,堵水工艺手段、堵水认识仍处在探索发展阶段,众多堵剂或难以注入易于伤害油藏,或强度不高有效期不足,整体堵水效果不理想。

## 2 “疏堵结合”的治水理念

主要思路是:在上部油层打开的前提下,射开底水层上部,通过油水同步分采,改变井筒周围水流方向,消除或抑制水侵。通过与堵水技术配套,实现油水界面相对均匀的缓慢抬升,达到提高底水波及系数,增加原油采收率的目的。

“疏堵结合”包括 2 部分:“疏”是“釜底抽薪”,通过“油水同步分采”,实现底水驱油和控制底水抬升速度的平衡。“堵”是不经产油通道,通过堵水工艺控制优势水侵通道。具体来说有以下优势:(1)对于已水锥井,选择适当位置打开水层,开采底水降低生产压差,调整近井水流向,有效抑制近井锥体,在堵水配套的情况下,抑制底水窜进,“疏堵结合”实现油水界面均匀缓慢抬升;(2)针对今后的加密调整井在新井完井时,开展先期“疏堵结合”作业,延长无水采油期,实现底水驱替效率的最大化;(3)在天然隔夹层发育或整体堵水形成阻挡的前提下,采出水经处理后井组回注,化底水为边水,实现边水和底水的能量博弈。

## 3 技术可行性论证

### 3.1 抑制水侵机理

#### 3.1.1 水侵产生机理

在底水油藏开采过程中,由于油井周围的压力降,不可避免地形成底水锥进。底水锥进的形成为(图 1):

$$\Delta P \geq \Delta P_1 \quad (1)$$

式中: $\Delta P$ —井底压差,MPa; $\Delta P_1$ —油井无水锥时的极限生产压差,MPa。

$$\Delta P_1 = 0.433(\rho_w - \rho_o)H_c \quad (2)$$

式中: $\rho_w$ —地层水密度,  $g/cm^3$ ;  $\rho_o$ —原油密度,  $g/cm^3$ ;  $H_c$ —从射孔底界至油水界面的垂直距离, m。

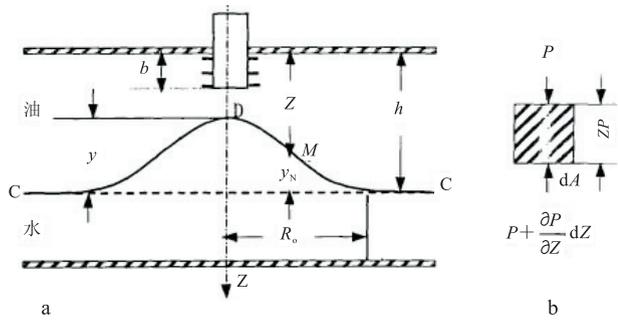


图 1 底水油藏底水锥进示意

Fig. 1 Diagram showing bottom water coning in bottom water reservoir

当井底压差逐渐增大至超过极限生产压差时,井底开始形成水锥<sup>[1]</sup>。

而在地层非均质性作用下,底水可能直接沿着低渗阻力的高渗通道,直接窜入油井,形成水窜,导致含水异常的迅速上升。

#### 3.1.2 “疏堵结合”抑止水侵机理

常规手段主要通过生产中降低采液强度实现对底水锥进的控制,但所允许的极限采液强度较低,在高含水期由于水形成了连续流的优势通道,降低采液强度或者关井压锥将难以见效。从近井来看,油水同步分采这种“疏”的方法相当于在水区增加了一个汇,在该点产水改变近井地带势的分布,从而改变了近井流场。根据采油速度的大小合理调节排水速度,水区产生的压降可以平衡采油造成的压降,从而使油水界面成为一个油水分流面,保持油水界面稳定<sup>[2]</sup>。

在射开底水层上部,油水同步分采,抑制水锥的基础上,针对可能存在的地层水窜进问题,通过在下部产水段注入堵剂直接封堵高渗通道,控制底水窜进通道。由于堵剂不直接经生产通道进入地层,因此堵水伤害的风险相对较低,有利于实现大剂量深部挤堵深部控制优势流向的工艺思路。

当以水锥形式为主时:隔水疏锥,上疏下隔。选择合理位置打开水层,改变近井水流向,抑制底水锥进,堵水配套,抑制底水锥进,实现油水界面均匀缓慢抬升(图 2)。

当以水窜形式为主时:以堵封窜,以疏减压,上堵下疏。通过射开底水层上部注入堵剂直接封堵高渗通道,控制底水窜进通道后,进行疏水降压,防底水突破(图 3)。

### 3.2 井况适用性

对人工举升类井,条件是 7" 未回接的直井(下双管柱时井筒有足够空间)且套管无严重变形;对自喷井来讲,只需单管柱带封隔器,即可实现用油

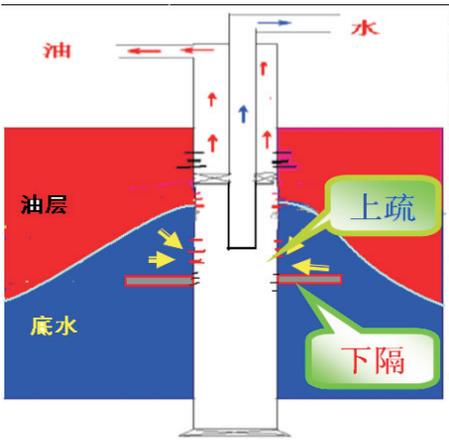


图 2 疏堵结合控水锥

Fig. 2 Combined water sparse and water shutoff in control water coning

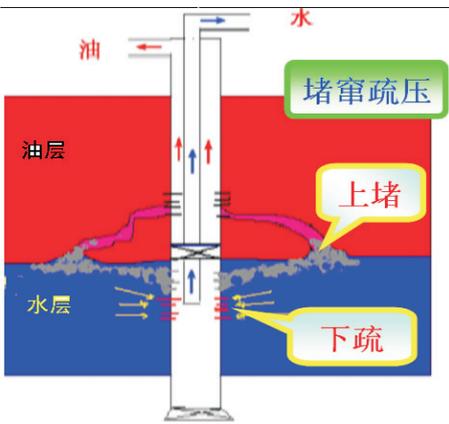


图 3 疏堵结合治水窜

Fig. 3 Combined water sparse and water shutoff in managing water channeling

嘴控制油管采水、套管自喷采油的开采模式；产层与水层间固井质量较好的井；套管完井，完井井深进入大底水段，或通过加深进入大底水段。

### 3.3 “疏堵结合”工艺可行性

水平井由于需要新分支进入底水层上部，作业费用高昂，工艺技术要求高，短期内难以试验。而直井在工艺上可操作性更强，对此进行探讨。

#### 3.3.1 生产管柱及配套井口的选择

自喷井：下带封隔器单管柱（可带杆式泵支撑接头）完井，油管加油嘴控制产水，套管加油嘴控制自喷产油。井口采用塔河油田 KQ70-78/65 采油树（图 4,5）。

人工举升类井：需引进双管柱配套采油设备，产水管柱用封隔器杆式泵或电潜泵生产，产油管柱用电潜泵生产（图 6）。

#### 3.3.2 “疏堵结合”的堵剂选择

针对塔河油田高温高盐的油藏条件，适应的选

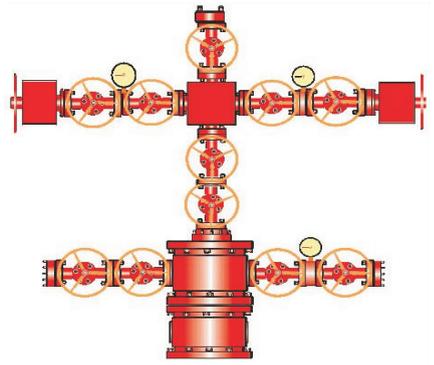


图 4 KQ70-78/65 采油树

Fig. 4 KQ70-78/65 oil-production tree

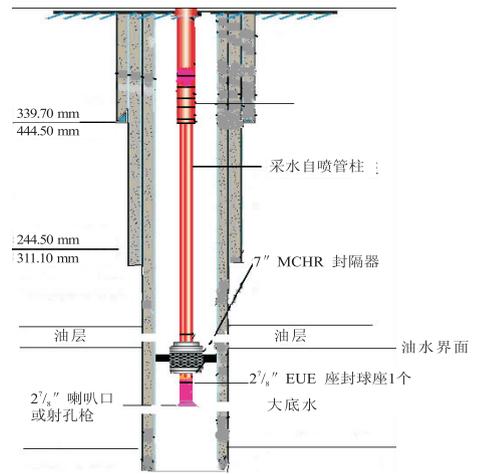


图 5 直井“疏堵结合”自喷管柱

Fig. 5 Production string of combined water sparse and water shutoff in vertical flowing well

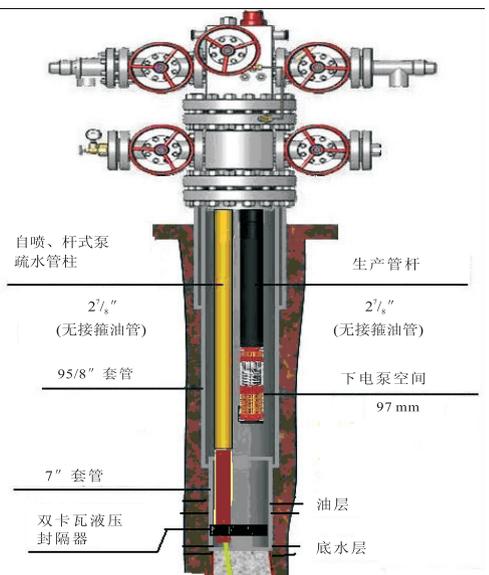


图 6 “疏堵结合”双管柱方案示意

Fig. 6 Schematic diagram showing the double production string of combined water sparse and water shutoff

择性堵剂主要有:

(1)沉淀堵剂<sup>[3]</sup>。以硅酸盐溶液、碳酸钠溶液等为代表的钙镁敏堵剂,与地层水中钙镁离子结合产生沉淀。以聚氨酯、硅酸脂、甲硅烷等为代表的水敏堵剂,与水反应产生封堵物。该类堵剂的优点是与油结合不会产生封堵,耐温耐盐,稳定性好,缺点是封堵物本身无油水选择性,沉淀反应过快,易与高矿化度地层水在近井接触。需要研究充分顶替地层水或延缓沉淀反应速度(油包水乳化)的配套工艺。

(2)交联聚合物类堵剂。该类堵剂在水中膨胀舒展,在油中收缩蜷曲,对水具有更大的渗流阻力。国外文献报道<sup>[4]</sup>吸附型冻胶处理后,冻胶对水阻力是对油阻力的 10~15 倍左右。整体冻胶处理后,用水突破的残余阻力系数均大于 10 000,用油突破的残余阻力系数在 15~24。

国外文献报道以超低水解度聚合物(水解度 0.5%左右)为基础,结合酚醛树脂、聚乙烯亚胺等有机交联剂形成最高耐温 170 ℃的冻胶,已广泛用于高温条件的堵水施工<sup>[5]</sup>。微冻胶是近年来发展的一种新型聚合物交联技术<sup>[6]</sup>,粒径可控,形成与孔喉匹配的弹性球体,具有更好的油藏稳定性,在渗流通道粘附后选择性。

## 4 技术关键

1)选井原则(井筒、地层条件):对于双管柱,要求 7"套管未回接,有足够环容;对于单管柱,要求套管无其它漏失点,以免影响采油;强底水砂岩油藏,未发生大面积水淹,开采程度低。

2)选择合理的水层射开位置,选择合理的油水同采时机。利用测井手段,找到目前油水界面、剩余油水分布情况;含水 30%~40%为最合理的油水同采时机。

3)选择合理的堵剂注入位置,合理的堵剂展布半径。

4)优化采水、采油工作制度,选定采油水强度比。采水强度过大,形成油倒锥,产出水中带油;采水强度不够,底水继续锥进,产出油中含水高。

## 5 总结与建议

1)“疏堵结合”改变以往控水以“堵”为主的常规思路。采出底水,用以消除或抑制水锥,配套堵水控制水窜,通过抑制底水能量的过快驱替,实现油水界面缓慢均匀抬升。

2)可选具有自喷能力,初步水锥的直井,采用带封隔器的单管柱以合理的工作制度评价该工艺效果。

3)若控水增油、提高采收率效果显著,可考虑引进双管柱推广油水分采工艺。

4)碎屑岩底水油藏隔夹层发育时,在新井完井阶段尝试同时射开油层和水层分采,延长无水采油期,提高油藏的最终采收率。

### 参考文献:

- [1] 西北油田分公司工程技术研究院. 双管柱采油测试工艺方案论证[R]. 乌鲁木齐:中国石化西北油田分公司,2010.
- [2] 伍增贵. 双层完井技术提高底水油藏开发效果[J]. 石油钻采工艺,2007,29(1):103-104.
- [3] 赵福麟. 油井选择性堵水[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(1):84-88.
- [4] 陈元千. 水驱体积波及系数变化关系的研究[J]. 油气地质与采收率,2001,8(6):49-51.
- [5] Eoff L S, Dalrymple E D, Everett D M, et al. Worldwide field applications of a polymeric gel system for conformance applications [J]. SPE 98119, 2006.
- [6] Rousseau D, Chauveteau G, Renard M, et al. Rheology and transport in porous media of new water shutoff / conformance control microgels [J]. SPE 93254, 2005.

(编辑 叶德燎)