

文章编号: 1001-6112(2010)01-0083-04

塔河油田奥陶系油藏 TK461 井组油水分布概念模式研究

杨 敏^{1,2}, 陆正元¹, 窦之林², 鲁新便², 李 峰²

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059;

2. 中国石油化工股份有限公司西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田奥陶系致密碳酸盐岩缝洞油藏的储集空间主要为天然裂缝和酸压裂缝沟通大型管道状洞穴构成的复杂系统。塔河油田四区 TK461, TK435, TK455 和 TK432 等 4 口相互连通的油井见水开发过程表明存在多个不同的边底水侵入通道; 并不遵循由低到高逐渐见水的常规开发见水规律。实践表明在低部位的 TK461 井探索性注水使高部位 TK432 井的含水下降, 高部位 TK435 变成不产水, 而高部位不产水的 TK455 井的油产量明显提高。根据开发过程中的油水关系变化, 建立了 TK461 井组的储层油水分布概念模式, 指出了低部位注水可以增加高部位油井产量, 同时可能实现对高部位高含水井从原水侵相反方向上补充剩余油体能量来减缓水体侵入, 起到压制水锥增加产油量的效果。

关键词:油层注水; 油水分布; 地质模式; 缝洞储层; 塔河油田

中图分类号: TE357.6

文献标识码: A

STUDY ON CONCEPTUAL MODEL OF OIL AND WATER DISTRIBUTION IN WELL GROUP TK461 OF ORDOVICIAN RESERVOIR IN TAHE OILFIELD, TARIM BASIN, CHINA

Yang Min^{1,2}, Lu Zhengyuan¹, Dou Zhilin², Lu Xinbian²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The reservoir space of the Ordovician dense carbonate in Tahe Oilfield, the Tarim Basin, is a complex system, mainly composed of one or several large pipeline-shaped cavities which were communicated by natural and acid-fracturing fractures. The development performance shows that there are a number of different invading pathways of edge or/and bottom water bodies in Well Group TK461, which are different from the common water invading process from lower to higher position gradually. After water injection from Well TK461 in the lower-position, water production in Well TK432 decreased and Well TK435 produces no water but pure oil. The conceptual model of oil and water distribution has been established in Well Group TK461 according to the relationship between water and oil during the development. The model reveals that water injection from a well in the lower position may increase the energy of remaining oil in the wells in the upper position wells—from the reverse direction of the original invading pathway, resulting in water containing drop and control water coning in wells in the upper position.

Key words: water injection in oil reservoir; oil and water distribution; geology model; fracture-cavity reservoir; Tahe Oilfield

塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起西南部, 1999 年奥陶系碳酸盐岩油藏开始规模开发。2005 年针对开发中油井压力下降和油井含水上升等引起产量快速递减问题, 塔河油田在实践中探索并试验成功碳酸盐岩缝洞油藏注水开发提高采收

率技术^[1-4], 尤其是通过多井缝洞单元中的低部位水淹井注水使相对较高部位的水淹井复活, 取得了意想不到的注水压锥、提高采收率效果。

本文通过对塔河油田四区 TK461 井水淹后注水使其高部位的水淹井 TK432 和 TK435 井含

收稿日期: 2009-04-02; 修订日期: 2010-01-12。

作者简介: 杨 敏(1968—), 男, 高级工程师, 博士研究生, 油气田开发地质专业。E-mail: 136531396@qq.com。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB202403)和四川省重点科技项目(07jy029-144)。

水下降的效果分析,研究注水开发过程中的油水关系变化,建立了地下缝洞单元的油水分布概念模式,以期为多井缝洞单元开展注水开发提高油藏采收率提供指导。

1 奥陶系储层基本特征

塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩石类型主要为很纯的块状粒屑微晶灰岩,基质储集空间为极少量的粒间溶孔和晶间孔隙,油藏的储集和渗流空间以次生发育的裂缝、溶洞为主^[5-7]。根据裂缝、溶洞发育的非均质性,提出了“缝洞单元”的概念^[8-9],缝洞单元是指奥陶系碳酸盐岩中被相对致密或渗透性较差的隔挡层遮挡,内部由裂缝网络相互串通,由溶孔、溶洞组合而成的多个孤立或连通的流体运动单元。

根据钻井、岩心、测井、测试和开发动态资料研究,认为缝洞单元的构成要素包括溶洞和裂缝两大部分。溶洞以不同充填程度的大型管道状洞穴系统为主,是缝洞单元的主要储集空间和流动通道^[10];裂缝包括天然裂缝和酸压裂缝,在洞穴之间起重要沟通作用,酸压裂缝特别提供了洞穴与井孔的连通桥梁。缝洞单元具有相对独立的压力连通关系和相似的流体性质,在生产中可作为一个相对独立的流体运动单元。

2 TK461 井组注水前的开发简况

TK461 井组位于塔河油田 4 区西部 S65 缝洞单元的南部,包括 TK461, TK435, TK455 和 TK432 等 4 口井(图 1)。在注水开发之前,S65 缝

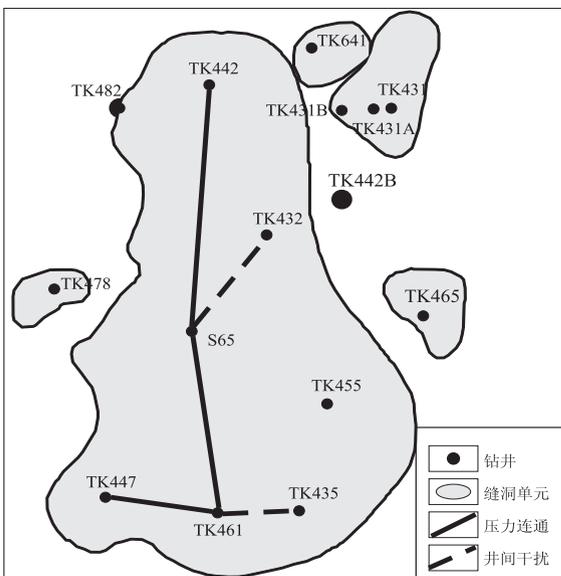


图 1 塔河油田 TK461 井组井位分布示意

Fig. 1 Well locations of Well Group TK461 in the Tahe Oilfield

洞单元中各开发井之间具有不同程度的连通性。TK461 井注水后,TK435,TK455 和 TK432 等 3 口井的压力和产量均有明显反映,本文将这 4 口井作为一个开发井组。根据各井录井和产液测试,确认各井产层情况为:TK461 井 2003 年 6 月 28 日生产测井表明主产层在 5 585 m 以下,主要是钻具放空的 5 594.6~5 596.5 m。TK432 井的产层段 5 436.5~5 456,5 483~5 513,5 560~5 585 m,堵水后变为上面两层段产油。2002 年 11 月 2 日对 TK435 井进行了生产测井,该井主要产出段在 5 400~5 475 m。2003 年 5 月 14 日至 15 日 TK455 井产液剖面测试解释产液主要来自 5 470~5 480 m。各井产层海拔和投产情况如图 2。

TK432 井 2000 年 9 月 16 日开钻,钻至 5 571.5 m 时井漏并有憋跳钻现象强行钻至 5 585 m 完井。2001 年 1 月 27 日始 9 mm 油嘴自喷高含水生产,含水平均在 52%;11 月 15 日原油含水上升到 87%;随后对下部产水层段进行了 2 次堵水施工,后酸洗 5 433.14~5 546 m 自喷生产纯油。2002 年 6 月含水逐渐上升,9 月 15 日含水上升至 23.6%。2004 年 6 月 4 日开始掺稀生产,2005 年 4 月 3 日至 13 日进行转机抽生产,初期含水 95%,逐渐下降到 50%左右,总趋势是含水增加且波动较大。

TK435 井 2000 年 10 月 29 日开钻,奥陶系 5 600 m 完钻,未见放空、井漏显示。2001 年 4 月 16 日对 5 440~5 500 m 井段酸压施工,4 月 20 日用 8 mm 油嘴连续生产至年底,日产原油由 200 m³ 逐渐下降到 136 m³。到 2002 年 9 月 20 日油压 1.9 MPa,日产油 34 m³,压力及产量下降较快。2002 年 11 月含水缓慢增加。2004 年 12 月 26 日因产量低关井。2005 年 1 月转机抽后含水 0%~50%之间波动很大,日产油在 20~50 t 之间。7 月 2 日后含水明显增加,基本在 30%以上,至 11 月 24 日含水达到 99%。

TK455 井 2002 年 1 月 17 日开钻,井深 5 682.5 m 完钻。5 535.67~5 682.50 m 钻井漏失,1.05~1.12 g/cm³ 泥浆 722 m³。2002 年 4 月 7 日至 16 日对 5 486~5 548 m 酸压施工用 6 mm 油嘴求产,日产原油 96~120 m³。2002 年 4 月 10 日至 2002 年 12 月 18 日 6 mm 油嘴生产,油压由 5.4 MPa 下降至 3.2 MPa,日均产油由 111.1 t/d 下降至 54 t/d。2002 年 12 月 19 日开始用 5 mm 油嘴生产,油压由 3.2 MPa 回升至 4.4 MPa,生产至 2005 年 10 月中旬又降至 2.6 MPa,产油量由前期的平均 33 t/d 下降至 16 t/d。2005 年 10 月 16 日改为 6.5 mm 油嘴生产,油压由 2.6 MPa 降至 2.0 MPa,产量升至 33 t/d。

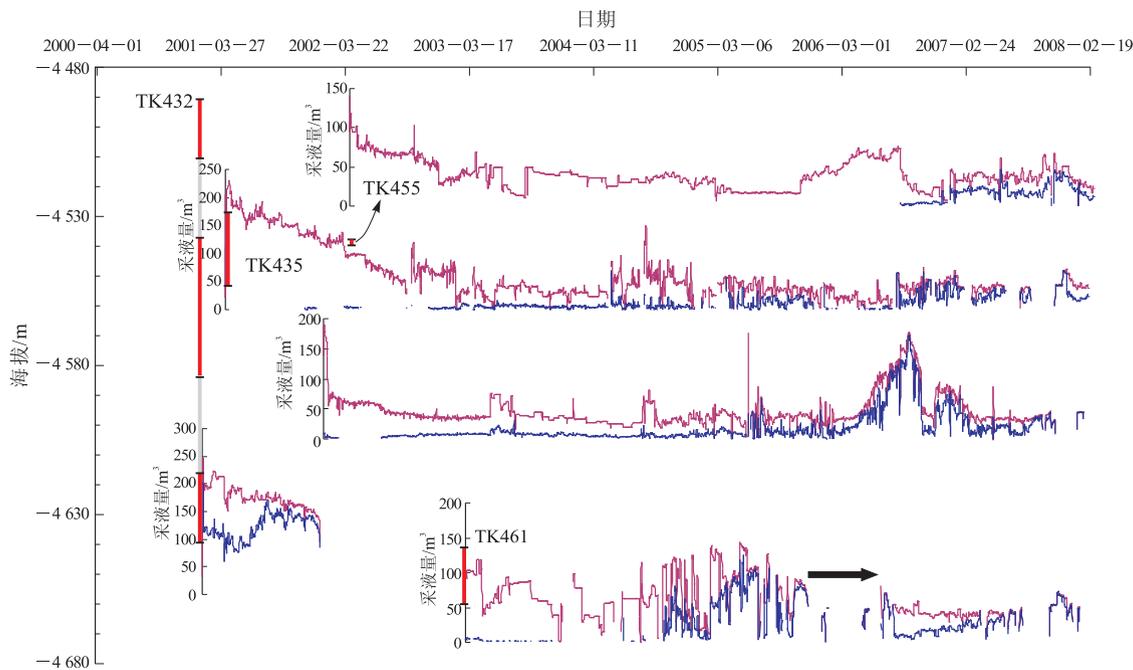


图2 塔河油田 TK461 井组各井产层海拔和油水变化关系

红线表示各井产层段海拔,橙色线和蓝色线分别表示各井每天的产出总液量和产出水量,两线之间差值为产油量。黑色箭头指示了 TK461 井的注水时间,其后为上试层位产油。

Fig.2 Relationship between oil-water production and the elevation of reservoir interval in Well Group TK461 in the Tahe Oilfield

TK461 井 2002 年 12 月 10 日开钻,2003 年 2 月 10 日钻至 5 594.6 m 放空 1.9 m 并井漏,只进不出,漏失泥浆 60 m^3 ,水 40 m^3 。2003 年 3 月 3 日至 2004 年 9 月 15 日 6 mm 油嘴自喷生产,平均产油 56.99 t/d 。2004 年 9 月 27 日开始电泵生产,初期产液 $110.9 \text{ m}^3/\text{d}$,产油 94 t/d ,含水 $0\% \sim 45\%$,含水快速上升,至 10 月 19 日上升至 68% ,后期降低产液量至 $25 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右,含水下,2005 年 2 月上旬以前产液维持在 40% 左右。2005 年 2 月中旬提液至 $130 \text{ m}^3/\text{d}$ 后含水迅速上升,至 4 月初上升到 90% ;6 月底平均日产油 7 t ,于 7 月 3 日开始间开生产有一定增油效果;10 月 12 日后含水上升至 90% 以上,11 月 23 日开始转为注水井。

3 TK461 井组注水后的开发效果

S65 缝洞单元中的 S65 井 2005 年 6 月 27 日开始注水,2005 年 11 月 23 日 TK461 井转为注水井。TK461 井转为注水井后其周围的各开发井注水见效明显,TK455 井增大油嘴的情况下井口压力和产油量均明显增加,油压由注水前的 2 MPa 增加到 2006 年 7 月 28 日 3.8 MPa ,产量则由 35 t/d 增加到 75 t/d ,达到投产初期水平,该井 2006 年 7 月 29 日见水。TK461 井转为注水井后,TK435 井产液增加不明显,但含水由 $50\% \sim 90\%$

降为不再含水,直至 2006 年 7 月底再度高含水;TK432 井产液增加明显,初期含油量增加较多,其后含油量降低再度高含水。

不难分析得出,产层高度最低的 TK461 井注水使得较高部位的纯油井 TK455 井产油量增加,相当于注水开发从底部补充油藏能量的作用。同时使得较高部位的高含水井 TK435 井和 TK432 井的含水量不同程度的降低,甚至在 TK435 井出现近 8 个月的基本不再含水。显然这种低部位水淹井注水使较高部位的高含水井含水降低的现象不能用一般边底水油藏注水开发的理论来解释。

4 TK461 井组油水分布概念模式

S65 缝洞单元各开发井投产后产量下降较快,见水后各开发井机抽采油阶段基本都有供液不足的现象,是公认的能量不足缝洞单元。可能只有 TK432 井堵水前可以看出水体有一定能量,在油井见水特征上均表现为缓慢见水,反映出 S65 缝洞单元整体上能量较弱,供液明显不足。

开发过程中缝洞单元中的各开发井见水先后与产层高低关系不大,整体上并非海拔较低部位见水快,高部位见水慢。TK432 井 2001 年 1 月 22 日投产即油水同产,水淹后生产测井表明下部主力产层段主要产水,封堵下部出水层后变为纯油井后

不久再次出水。TK435 井 2002 年 11 月含水缓慢增加,其后长期油水同产。TK455 井在 TK461 井注水前一直是纯油井。产层高度最低的 TK461 井 2003 年 3 月 3 日投产为纯油井,当时高部位 TK432 井已经油水同产或严重水淹,TK461 井 2004 年 9 月 27 日开始电泵生产后明显见水。这些见水特征说明各出水井的水体来源不应该是统一的边底水体,而是可能存在多个不连通或者连通性较差的水体,开发过程中各个水体的侵入路径各不相同。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层储集空间为裂缝沟通的管道状岩溶洞穴,可以把 TK461 注水连通井组的各开发井看成是若干个相对独立的岩溶洞穴体,每个岩溶洞穴体中的高部位为原油占据,较低部位或由裂缝沟通的较低部位为水体占据。由于各岩溶洞穴体中水体能量和侵入通道的差异,表现出开发过程中各井在开发中的见水时间并不按照由低到高的一般顺序。根据注水前后各井含水变化,可以建立 TK461 井组的地下油水关系概念模型(图 3),低部位水淹的 TK461 井注水后增加了高部位 TK455 井的压力起到了补充油藏能量的作用。同时,对 TK432 井和 TK435 井而言,TK461 井注水为在原水体侵入的相反方向上增加油藏能量、压制或减缓了原水体的侵入,导致 TK432 井和

TK435 井含水降低甚至出现不产水。由于 TK432 井和 TK435 井控制的剩余储量不大,故 TK461 井的不断注水将容易造成这些井含水增加。

5 结论

塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞储层由多个管道状岩溶洞穴组成,并存在多个不同的储油体和相关水体。随着各管道状洞穴中油体的开发,这些水体将逐步沿不同方向侵入油藏,并不遵从一般边底水油藏的低部位先见水然后水体逐渐上升的开发见水特征。低部位水淹井的注水可以补充高部位产油井的地层能量,同时也可能在原水侵相反方向上实现对高部位水淹井补充剩余油体能量使高部位见水井含水下降或含水为零,可以起到所谓注水控制水侵的开发效果。塔河油田奥陶系缝洞油藏在早期利用自然能量开发油井见水压力下降之后,可以探索性地在低部位水淹井注水,可能实现高部位水淹井复活为低含水井或不含水井,从而提高缝洞油藏的采收率。

参考文献:

- [1] 焦方正,窦之林. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发研究与实践[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
- [2] 任玉林,李江龙,黄孝特. 塔河油田碳酸盐岩油藏开发技术政策研究[J]. 油气地质与采收率,2004,11(5):57-59.
- [3] 陈志海,刘常红,杨坚,等. 缝洞性碳酸盐岩油气藏开发对策:以塔河油田主体开发区奥陶系油气藏为例[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):623-629.
- [4] 李江龙,黄孝特,张丽萍. 塔河油田 4 区奥陶系缝洞型油藏特征及开发对策[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):630-633.
- [5] 陈强路,钱一雄,马红强,等. 塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化[J]. 石油实验地质,2003,25(6):729-734.
- [6] 张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发,2001,28(5):17-22.
- [7] 吕海涛,张卫彪. 塔里木盆地塔河油田奥陶系油气成藏演化过程研究[J]. 石油实验地质,2008,30(6):547-551,556.
- [8] 鲁新便. 塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏开发地质研究中的若干问题[J]. 石油实验地质,2003,25(5):508-512.
- [9] 陈志海,马旭杰,黄广涛. 缝洞型碳酸盐岩油藏缝洞单元划分方法研究:以塔河油田奥陶系油藏主力开发区为例[J]. 石油与天然气地质,2007,28(6):847-855.
- [10] 陆正元,陈立官,王洪辉. 四川盆地地下二叠统气藏储层模式的再认识[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):11-14.

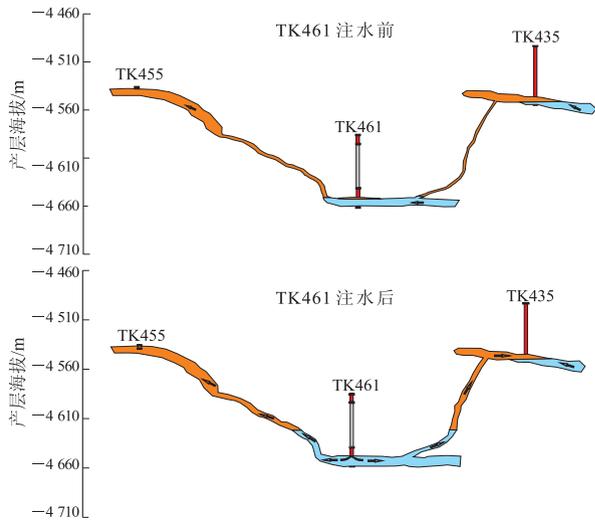


图 3 塔河油田 TK461 井组油水分布概念模式

Fig. 3 Conceptual model of oil and water distribution of Well Group TK461 in the Tahe Oilfield