

文章编号: 0253-9985(2005)05-0634-07

塔河缝洞型碳酸盐岩油藏渗流特征

康志江, 李江龙, 张冬丽, 吴永超, 张 杰

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 根据塔河缝洞型油藏储层及生产动态特征和流动机理不同, 把塔河缝洞型油田划分成 5 种类型的油藏。1) 溶洞为主的低饱和缝洞型油藏, 初期产能高、稳产期长、见水慢、有较长的无水采油期。这类油藏要注意地层压力的变化并及时注水补充能量。2) 缝洞为主的低饱和缝洞型油藏, 初期产能较高、稳产期较短、易见水、无水采油期短、水淹速度快。这类油藏要注意早期完井不要进行大型的酸压作业并减小生产压差、延长无水采油期。3) 缝孔为主的低饱和缝洞型油藏, 初期产能相对较低、稳产期较短、见水速度快。这类油藏要注意减小生产压差、减缓底水的锥进。4) 具气顶的过饱和缝洞型油藏, 初期具有较高的产能、见水速度慢、含水上升的梯度小。这类油藏要注意尽可能减小气顶气的采出、保持地层中气的驱动能量。5) 稠油缝洞型油藏, 初期具有较高的产能、含水率呈脉冲式、整体含水率上升趋势缓慢。这类油藏要注意地层压力及采油方式的研究。

关键词: 缝洞; 碳酸盐岩油藏; 渗流; 塔河油田

中图分类号: TE112.3 **文献标识码:** A

Percolation characteristics of fractured-vuggy carbonate reservoir in Tahe oilfield

Kang Zhijiang Li Jianglong Zhang Dongli Wu Yongchao Zhang Jie

(Exploration & production Research Institute, SINOPEC, Beijing)

Abstract According to reservoir characteristics, production performance and percolation mechanism, the fractured-vuggy carbonate reservoirs in Tahe oilfield can be divided into five types. (1) Low saturation fractured-vuggy reservoirs with solution cavities as the main pore type. This type of reservoir is characterized by high initial productivity, long plateau production period, late water breakthrough, and relatively long water-free oil production period. Attention should be paid to changes of formation pressure and timely maintaining pressure through water injection. (2) Low saturation fractured-vuggy reservoirs with fractures and vugs as the main pore type. This kind of reservoirs is characterized by relatively high initial productivity, relatively short plateau production period, early water breakthrough, short water-free oil production, and rapid water-out. Large-scale acid fracturing treatment should be avoided during early well completion, and producing pressure drop should be lowered, so as to prolong water-free production period. (3) Low saturation fractured-vuggy reservoirs with fractures and pores as the main pore type. This type of reservoir is characterized by low initial productivity, short plateau production period and rapid water breakthrough. Producing pressure drop should be lowered to slow down bottom water coning. (4) Oversaturation fractured-vuggy reservoirs with gas cap. This kind of reservoir has relatively high initial productivity, late water breakthrough and slow water cut rising speed. Gas production from the gas cap should be minimized so as to maintain driving energy of the gas in the reservoir. (5) Fractured-vuggy heavy oil reservoir. This kind of reservoir has relatively high initial productivity, slowly increasing water cut in impulsion.

1997年, 中国石化在中国西部塔里木盆地发现了大型碳酸盐岩油田——塔河油田。这是目前塔里木盆地投入开发规模最大的一个整装油气田, 其主力油藏为古生界奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏。自发现以来, 油藏含油面积不断扩大, 目前控制含油面积 $1\,000\text{ km}^2$, 已提交探明储量 $3.1 \times 10^8\text{ t}$ 加上控制和预测储量, 预计储量规模可达 $7.6 \times 10^8\text{ t}$ 油藏储层埋深 $5\,300 \sim 5\,800\text{ m}$, 属于超深层缝洞型碳酸盐岩油气藏^[1]。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏储层发育主要受阿克库勒凸起向西南倾伏的东西向鼻状构造、断裂和裂缝发育程度控制, 还受加里东中期古岩溶和后期成岩作用等因素影响。奥陶系碳酸盐岩上部普遍发育浅滩相颗粒灰岩, 发育孔隙型储层; 奥陶系碳酸盐岩下部储集空间主要是裂缝和溶蚀孔洞。

根据储层流体特征可将该油藏划分多个区块, 区块之间无明确的地质边界, 不同区域之间的储层性质具有较大的差异。塔河油田奥陶系油藏是由复杂缝洞系统作为主要储集空间、由多种性质原油共存的复杂性油气藏。

根据塔河油田的野外露头特征、储集空间特征及储层物性特征, 结合油田的生产特征, 按照流体流动的动力学特征及驱油机理, 把塔河油田分为 5 种类型: 溶洞为主的低饱和缝洞型油藏、缝洞为主的低饱和缝洞型油藏、缝孔为主的低饱和缝洞型油藏、具气顶的过饱和缝洞型油藏和稠油缝洞型油藏。下面分类进行特征描述。

1 溶洞为主的低饱和缝洞型油藏

1.1 储层特征

这类储层以溶洞发育为主, 同时高角度裂缝及溶蚀孔发育, 以 S48 井缝洞单元的特征最为明显。溶洞的发育可通过钻井放空、泥浆漏失、FM I 测井、野外露头及地震等手段识别^[2]。张达景教授通过测井、岩心、放空、井漏等资料绘制了奥陶系良里塔格组、一间房组及鹰山组的洞穴发育图。从宏观上来看, 塔河油田整体以溶洞发育为主, 裂缝次之。通过统计, 目前未充填的溶洞有 35 口井。较大的溶洞有 T705 井 $5\,841 \sim 5\,873\text{ m}$, 一间房组, 洞穴高度 32 m ; T807 井 $5\,696 \sim 5\,739\text{ m}$, 鹰山组, 洞穴高度 43 m ; T701 井 $5\,641 \sim 5\,671\text{ m}$, 恰尔巴克组, 洞穴高度 30 m 等。一般洞穴高度也在 10 m 左右。

通过野外露头, 结合现代溶蚀理论及地震识

别等手段, 对洞穴的形态和规模也有了较好的认识。从巴楚一间房的野外露头观察可以看出, 溶蚀的主要特征为: 1) 溶蚀的作用大, 可形成横向上近百米、纵向多层的大型溶蚀洞; 2) 横向的溶蚀作用大于纵向, 单层的洞穴纵横长度比例最大为 $40:1$, 一般为 $20:1$; 3) 溶蚀洞呈层状发育, 由于纵向上岩性的差异性, 同时灰质含量高的岩石易溶蚀, 这样就形成了纵向上呈层状分布的溶洞。

地震也是识别溶洞的有力手段。结合测井、FM I 及岩心资料, 应用地质统计学方法, 可以看出溶洞横向具有较好的连续性。

1.2 流动机理

这类油藏流体流动的能量包括缝洞基质的弹性能、原油的弹性能、底水的驱动能及井底的压力差等^[1]。

这类储层由于大型溶洞的存在, 溶洞内流体流动速度较快, 远大于裂缝的流动, 更大于洞孔内的渗流。同时, 由于后期底水的介入, 介质间流动速度会产生变化。

开采早期由于溶洞内流动呈管流形态, 流动阻力小, 流动速度快, 远大于近垂向或平面的裂缝内的流动。下面通过理论计算, 对比裂缝与溶洞的单相流体流动速度。

根据单一裂缝的平板模型, 裂缝流动方程^[3]为

$$v_f = - \frac{b^2}{12\,000\mu} \Delta \Phi \quad (1)$$

式中 v_f 为裂缝中流体流动速度, m/s ; b 为裂缝宽度, mm ; μ 为地下原油粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$; Φ 为压力势函数, MPa

取值: 裂缝宽度 $0.1 \sim 2\text{ mm}$; 地下原油粘度 $0.78\text{ mPa}\cdot\text{s}$; 压力差 1 Pa 距离 100 m 。计算裂缝内流动速度为 $0.01 \times 10^{-6} \sim 4.27 \times 10^{-6}\text{ m/s}$

对于溶洞, 利用水平圆管流量和压差的关系, 即哈根-泊肃叶公式 $q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128\mu L}$, 得到 $v = \frac{d^2 \Delta p}{32\mu L}$

式中 q 为水平圆管流量, m^3 ; d 为圆管直径, m ; Δp 为压力差, MPa ; L 为圆管长度, m ; v 为圆管内流体流动速度, m/s

取值: 圆管直径 3 m ; 地下原油粘度 $0.78\text{ mPa}\cdot\text{s}$; 压力差 1 Pa 距离 100 m 。计算圆管内流动速度约为 3.60 m/s

由理论计算结果可以看出: 单相流体条件下, 溶洞内流动速度远远大于裂缝。

早期流体的流动主要在溶洞内,呈层状流,而垂向上高角度裂缝内的流体流量相对少。开发中期(图 1),从生产曲线特征来看,溶洞表现为一个定容油藏特征,随着地层压力下降,底水沿高角度裂缝向上窜流。至开发后期,底水进一步窜进,

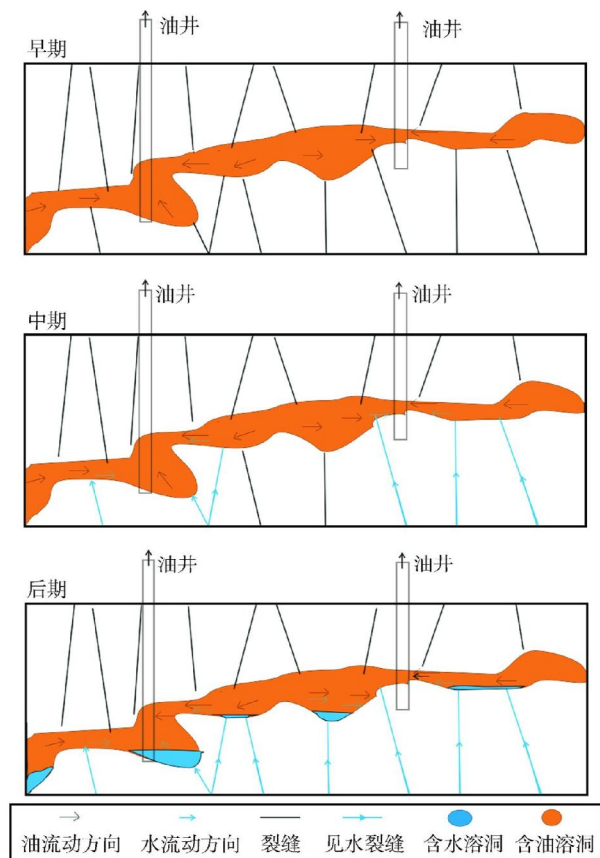


图 1 溶洞为主油藏流动模式示意图

Fig. 1 Sketch map showing flow patterns of solution-cavity dominated oil reservoir

在部分溶洞体内形成一定规模的次生底水。

1.3 动态特征

此类油藏动态特征与砂岩油藏有较大的差别,主要表现如下。

1) 油藏中不存在过渡带^[3]。油水或油气两相接触面在溶洞油藏中都表现为清晰的分界线,而不是像在常规砂岩油藏中那样有一个较大的过渡带。在生产过程中,界面上的流体变化将很快重新达到新的平衡。

2) 采出单位油量条件下压力下降速度慢。由于地下缝溶网络中流体流动性强,油藏内压力易平衡。与砂岩油藏相比,采出单位体积油量压力下降速度慢。

3) 生产井周围不易形成压降漏斗。在溶洞、裂缝油藏中,生产井周围的压力降十分低,甚至在油井产量很高时也不会出现明显的压降漏斗。

1.4 生产曲线特征

这类油井的生产动态具有明显的特征(图 2):

1) 初期产能高; 2) 稳产期长; 3) 见水慢, 具有较长的无水采油期; 4) 气油比低; 5) 见水后含水稳定上升, 不会出现快速水淹。

2 缝洞为主的低饱和缝洞型油藏

2.1 储层特征

这类油藏的储层由不连续小型溶洞与较发育裂缝网络组成。裂缝把溶洞连接起来, 形成相互连通的储集体。裂缝在这类油藏中起着重要的通

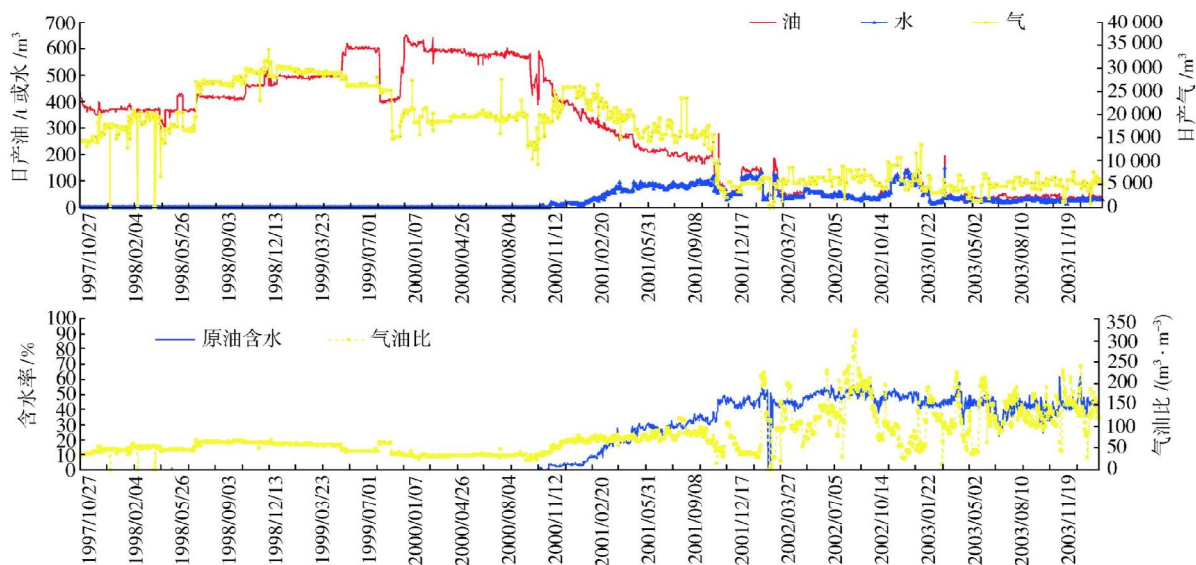


图 2 S48井采油曲线

Fig. 2 Oil production curves of S48 well

道作用^[4,5]。

通过钻井过程中的泥浆漏失、FM I测井及地震相干识别等技术,对裂缝分布方面已有了一定的认识。同时,不连续洞通过测井解释与对比也能识别。这类油藏主要发育在 4 区边部。

2.2 流动机理

这类油藏的驱动能量包括缝洞介质的弹性能、原油的弹性能、底水的驱动能及井底的压力差。与溶洞型的油藏的主要区别是,由于没有大型的溶洞体,小型溶洞之间的连通性差,主要通过横向裂缝连通,流体水平流动速度与高角度裂缝内流动速度近似或略高,单井采油强度高时底水易窜进。

这类油藏开发早期^[5],原油主要从局部小型溶洞通过裂缝向井底流动,初期产能比溶洞型产能低。随着地层压力的下降,沿裂缝远处溶洞的油也可向井筒内流动,同时底水也沿高角度裂缝向上流动。到开发中期,底水已形成一定的水流通道,水稳定向井底流动。开发后期,底水大量窜进,井底周围小型溶洞的油被大量洗出,但在离井较远的小型溶洞内存在一定量的剩余油(图 3)。

2.3 动态特征

这类油藏的动态特征表现为: 1) 油藏中不存在过渡带; 2) 采出单位油量,压力下降速度慢; 3) 生产井周围不易形成压降漏斗; 4) 无水采油期与采油速度有关,与常规油藏有较大差别; 5) 由于底水的窜进,在开发后期,井与井之间形成大量的死油区。

2.4 生产曲线特征

油井生产动态表现为(图 4): 1) 初期产能较高,相对溶洞型油藏低一些; 2) 稳产期较短; 3) 易见水,无水采油期短; 4) 气油比低。

3 缝孔为主的低饱和缝洞型油藏

这类油藏也可叫裂缝-溶孔型低饱和度油藏,储层主要以裂缝和溶蚀孔为主,油藏的特征及流动机理与常见的双重介质油藏类似。塔河 2 区呈现这类油藏特征。

3.1 储层特征

在野外露头观察到具有大量溶蚀孔的岩石,溶蚀孔大都均匀分布。溶蚀孔大的有 10 cm,小的有 1 cm,平均 4 cm 左右。这种溶蚀孔之间连通性差,在地层中只有通过裂缝,溶蚀孔中的流体才能

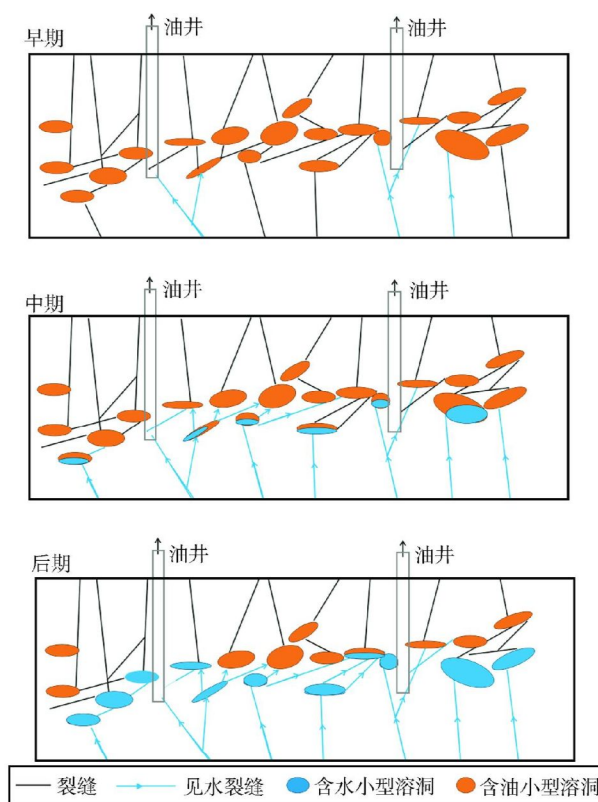


图 3 裂缝、溶洞油藏流动模式示意图

Fig. 3 Sketch map showing flow patterns of fracture-solution cavity type oil reservoir

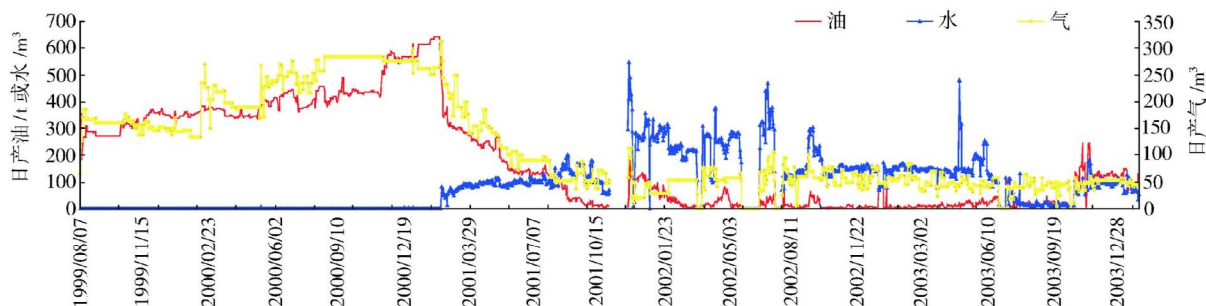


图 4 TK408井采油曲线

Fig. 4 Oil production curves of TK408 well

流动。这类储层通过测井解释、岩心观察进行物性的定量解释和判定。

3.2 流动机理

这类储层中的流体是依靠裂缝来流动的。溶孔类似于基质,由基质渗流到裂缝中,再由裂缝流到井底。这类油藏的驱动能量包括基质的弹性能、原油的弹性能、底水的驱动能、底井的压力差及毛管力。毛管力是指存在于溶孔中的毛细管力,裂缝毛管力十分小。

开采早期(图 5),产出的主要是裂缝中的油,溶孔中的油通过裂缝向井底供液,产能明显没有大型溶洞及小型溶洞的产能高。开发中期,由于水油的流度比,水沿高角度裂缝迅速窜进。此时,基质与裂缝间也存在物质交换,这种物质交换的力包括毛管力、俘获力,还有分子间的范德华力。开发后期,底水沿高角度裂缝大量窜进,油井底部形成水锥状,油井之间形成一定范围的剩余油区。这些区域属于难采储量区。

3.3 动态特征

1) 采油速度与底水窜进速度有关。这类油藏属于两孔单渗型油藏,如果采油速度过快,溶孔内的油没有及时地补给裂缝,底水沿裂缝快速窜进,使油藏过早地进入高含水期。减小开采强度是此类油藏开发的关键。

2) 不易形成压降漏斗。在两重介质油藏中,生产井周围的压力降也十分低。因为裂缝的渗透率高,甚至在油井产量很高时也不会出现明显的压降,所形成的小压力梯度足够使油在裂缝中流动,但是要控制基质和裂缝网络间的流体交换就嫌不

足了。因为,基质岩块的采油过程不是由生产井产生的压力梯度所控制,而是由于裂缝和基质岩块中流体饱和度不同产生的毛管力和重力所引起的。

3.4 生产曲线特征

总体特征(图 6)表现为: 1) 初期产能相对较

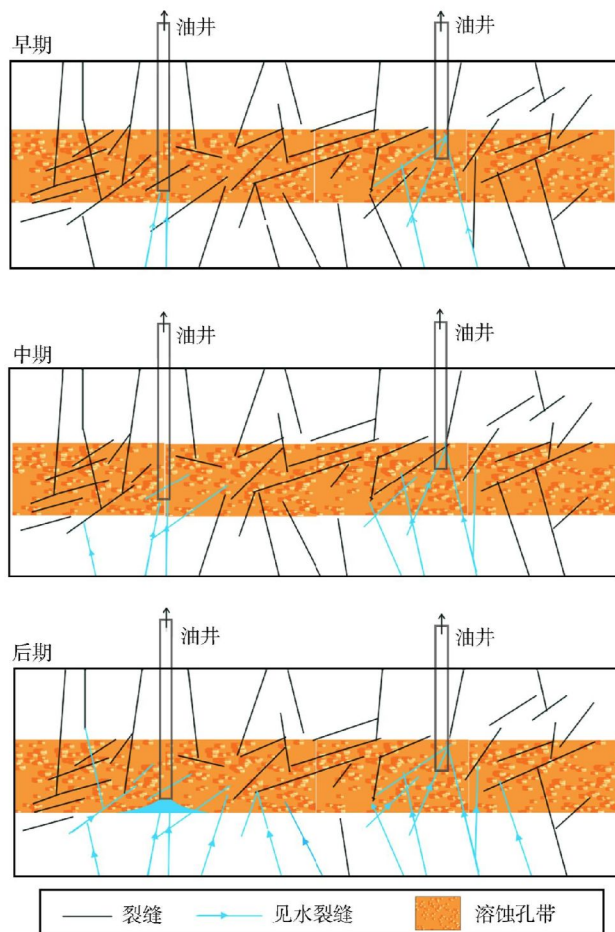


图 5 裂缝、溶孔油藏流动模式示意图

Fig. 5 Sketch map showing flow patterns of fracture-solution cavity type oil reservoir

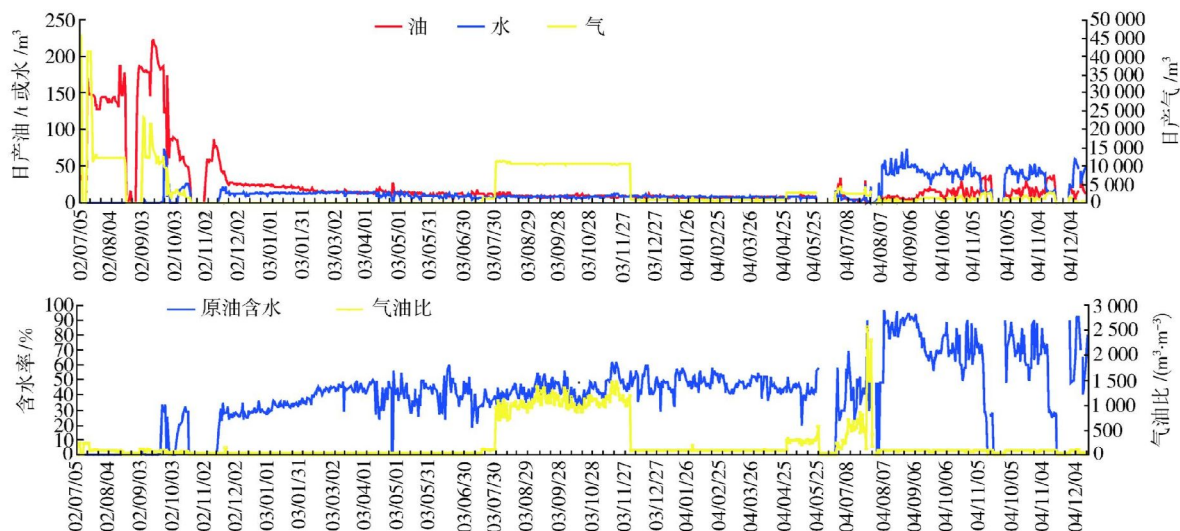


图 6 T453井采油曲线

Fig. 6 Oil production curves of T453 well

低; 2) 稳产期较短; 3) 初期见水速度快, 后期含水具有一定的稳定性。

4 具气顶的过饱和缝洞型油藏

这类油藏与低饱和度油藏有较大的区别, 它具有较好的气顶气驱和溶解气驱。这种气顶气驱和溶解气驱与常规砂岩的气驱差别较大。由于溶洞和裂缝的存在, 垂向上的流动性增大, 气顶气、溶解气作为自由气将快速地向油藏的顶部流动, 而不是像砂岩一样自由气向井筒流动 (图 7)。这种自由气向上的流动趋势在远离井筒周围更加明显。这种自由气驱是一种有力的驱动力。塔河 3 区 S47 井区呈现这种油藏特征。S47 井原始地层压力为 58.55 MPa 气顶气取样为凝析气, 露点压力 54.56 MPa 原始地层压力高于露点压力, 属于近临界态凝析气。

4.1 流动机理

这类油藏的驱动能量与低饱和度油藏不同, 除了基质的弹性能、原油的弹性能、底水的驱动能和井底的压力差外, 还存在气顶的凝析气驱和溶解气驱。

开发早期, 井周围的凝析气被部分采出, 存在凝析油析出; 同时随着压力下降, 溶解气大量析出 (图 8)。开发中期, 凝析油析出, 向下、向井底流动; 溶解气析出, 向油藏顶部流动, 形成次生气顶, 远离井筒周围的溶解气也向顶部流动。溶解气与凝析气顶联合形成向下的驱油力。开发后期, 溶

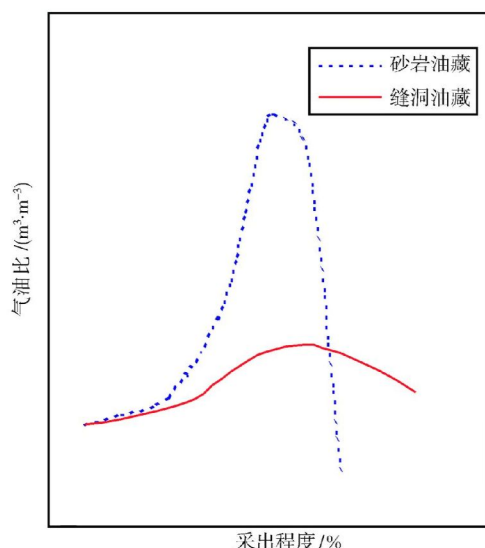


图 7 缝洞型与砂岩油藏气油比对比示意图

Fig. 7 Sketch map showing comparison of GOR in fractured-vuggy and sandstone reservoirs

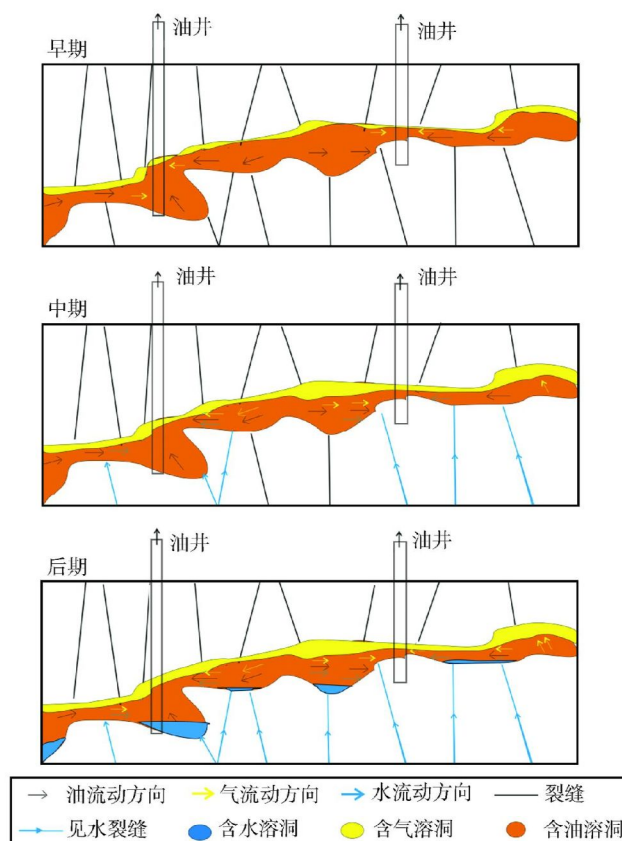


图 8 具气顶的缝洞油藏流动模式示意图

Fig. 8 Sketch map showing flow pattern of fractured-vuggy reservoir with gas cap

解气驱继续维持, 同时底水沿高角度裂缝窜进^[6]。这类油藏具有较高的采收率。

4.2 生产曲线特征

这类油井的生产动态 (图 9) 表现为: 1) 初期具有较高的气油比; 2) 初期具有较高的产能; 3) 见水速度慢, 含水上升的梯度也小; 4) 气油比变化小。

5 稠油缝洞型油藏

5.1 流体特征

这类油藏主要发育于塔河 6 区北部。流体临界压力介于 $4.53 \sim 6.27 \text{ MPa}$ 平均 5.5 MPa 临界温度介于 $484.8 \sim 539.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均 $507.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 地层原油密度介于 $0.8185 \sim 0.9332 \text{ g/cm}^3$, 平均 0.8707 g/cm^3 ; 原油粘度介于 $11.71 \sim 80.72 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 平均 $34.9 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 原油属于低饱和重质稠油。

5.2 流动机理

油藏的流动能量包括基质的弹性能、原油的弹性能、底水的驱动能和井底的压力差。这类油藏的主要特点是原油粘度相对较高, 与水相的流速相差较大。开发早期, 其驱动能量中弹性能占

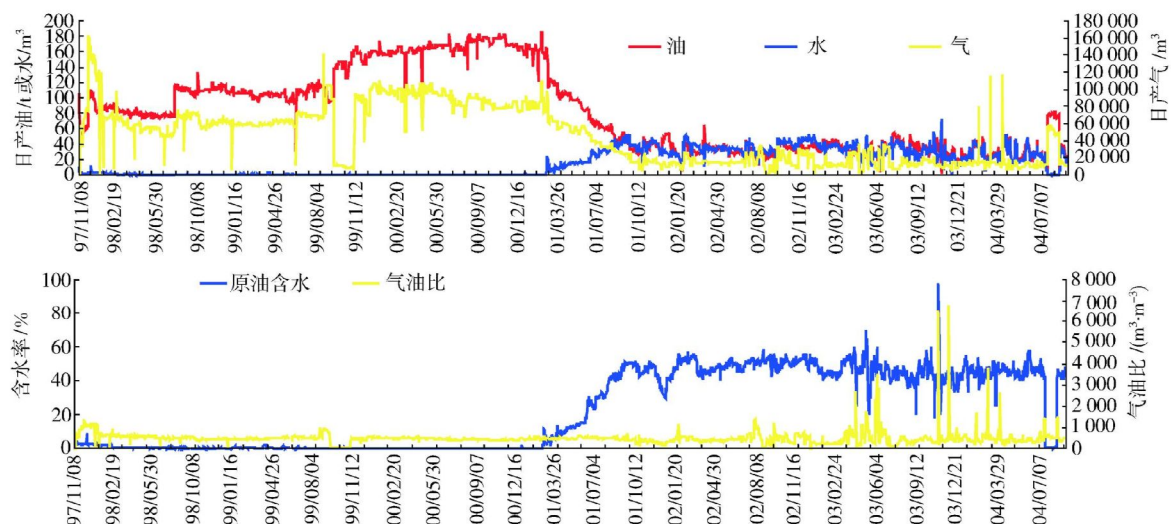


图 9 S47井采油曲线

Fig. 9 Oil production curves of S47 well

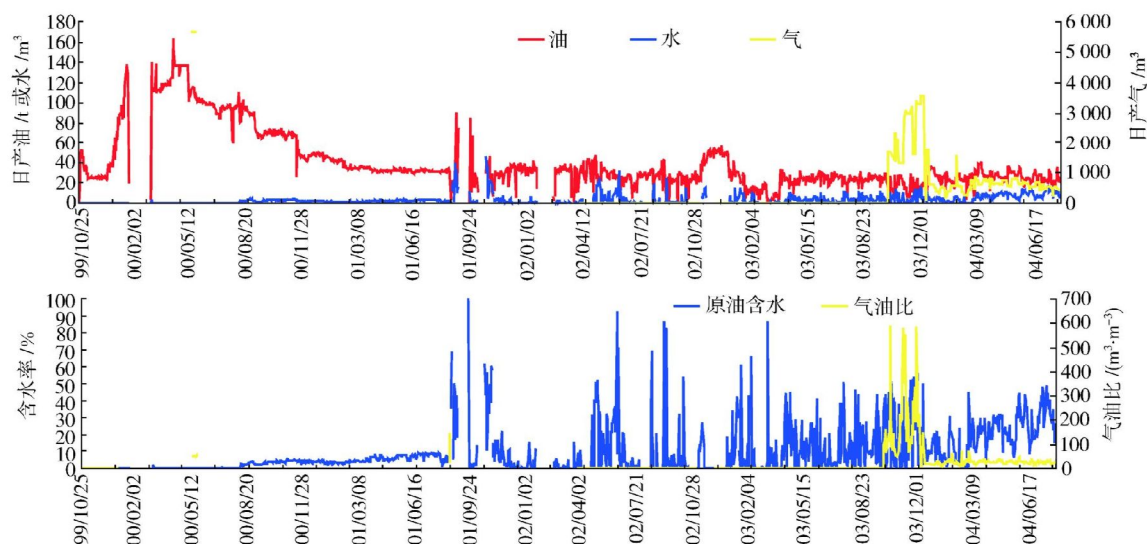


图 10 S66井采油曲线

Fig. 10 Oil production curves of S66 well

较大的比例,由于饱和压力很低(地饱压差 40MPa 左右),以弹性驱动为主。由于流度相差较大,底水过早地沿高角度裂缝窜进。开发过程中,原油在溶洞、裂缝中也有较好的流动性,可以较容易地流到井底,因此油产量相对下降速度缓,具一定的稳定性。由于流度比大,底水的窜流增大,但裂缝中水的窜流要克服井底的原油压覆的阻力,这样高粘度原油流动与底水窜流形成一组对立的阻力,因此开采中含水率呈脉冲式变化,但整体含水率呈上升缓慢的形态。

5.3 生产曲线特征

这类油井的生产动态(图 10)表现为: 1) 具有较低的气油比; 2) 初期具有较高的产能; 3) 含水

率呈脉冲式变化,整体含水率上升趋势缓慢。

6 结论与建议

缝洞型碳酸盐岩油藏是一种十分复杂的混合型油气藏,无论储层性质及特征还是流体分类及分布,都呈现其复杂性。这种类型的油藏开发要注重不同油藏类型的分类研究,分析不同类型的共性及差异性,剖析其流体流动机理,总结不同类型的特殊性,科学指导油藏开发。针对塔河缝洞型碳酸盐岩油田的具体特征,开发时应重点注意以下几点。

1) 溶洞为主的低饱和缝洞型油藏初期产能

(下转第 673 页)

- 3 罗家群. 泌阳凹陷深层系油气成藏样式 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 55~57
Luo Jiaqun. Reservoir patterns of oil and gas in the deep layer of Biyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 55~57
- 4 王敏, 秦伟军, 赵迫, 等. 南襄盆地泌阳凹陷油气藏形成条件及聚集规律 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 169~172
Wang Min, Qin Weijun, Zhao Zhi. Pool-forming condition and accumulation regularity of oils and gases in Biyang depression, Nanyang basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(2): 169~172
- 5 邱荣华, 陈祥, 付卫东, 等. 泌阳凹陷安棚深层系储层特征及油气分布规律 [J]. 江汉石油学院学报, 2001, 23(3): 13~15
Qiu Ronghua, Chen Xiang, Fu Weidong et al. Deep reservoir characteristics and distribution of oil & gas in Anpeng area of Biyang sag [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2001, 23(3): 13~15
- 6 Mopherson JG. Fan-deltas and braided deltas: varieties of coarse-grained deltas [J]. GSA Bulletin, 1990, 99
- 7 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system [A]. In: Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap [C]. AAPG Memoir 1994, 60, 3~22
- 8 Catalan L, Fu Xiaowen, Chatzis I. An experimental study of secondary oil migration [J]. AAPG Bull, 1992, 76(5): 638~650
- 9 隋凤贵. 断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体成藏动力学特征——以东营凹陷为例 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 335~340
Sui Fenggui. Characteristics of reservoir dynamic on the sand-conglomerate fanbodies in the steep-slope belt of continental fault basin: a case study on Dongying depression [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 335~340
- 10 Demichie H, Anderson M J. Secondary migration of oil experiments supporting efficient movement of separate, buoyant oil phase along limited conduit [J]. AAPG Bull, 1989, 73(8): 1018~1023
- 11 周荔青. 中国陆相含油气盆地斜坡区大中型岩性型油气藏形成条件 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 362~366
Zhou Liqing. Forming factors of large and medium lithologic fields in the slope area of continental petroliferous basins in China [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(4): 362~366

(编辑 高岩)

(上接第640页)

高, 稳产期长, 见水慢, 具有较长的无水采油期。这类油藏要注意地层压力的变化, 及时注水补充能量。

2) 缝洞为主的低饱和缝洞型油藏初期产能较高, 稳产期较短, 易见水, 无水采油期短, 水淹速度快。这类油藏要注意早期完井不要进行大型的酸压作业, 减小生产压差, 延长无水采油期。

3) 缝孔为主的低饱和缝洞型油藏初期产能相对较低, 稳产期较短, 见水速度快。这类油藏由于溶蚀孔洞油向裂缝中补给的速度慢, 要注意减小生产压差, 从而也可以减缓底水的推进。

4) 具气顶的过饱和缝洞型油藏初期具有较高的产能, 见水速度慢, 含水上升的梯度小。这类油藏要注意尽可能减小气顶气的采出, 保持地层中气的驱动能量。

5) 稠油缝洞型油藏初期具有较高的产能, 含水率呈脉冲式, 整体含水率上升趋势缓慢。这类油藏要注意地层压力及采油方式的研究。

参 考 文 献

- 1 康玉柱. 中国塔里木盆地塔河大油田 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2004, 112~116
Kang Yuzhu. Tahe oilfield in Tarim basin, China [M]. Urumqi: Xinjiang Science & Technology Press, 2004, 112~116
- 2 康玉柱. 海相成油新理论与塔河大油田发现 [J]. 地质力学学报, 2002, 8(3): 201~206
Kang Yuzhu. New theory of marine oil formation and discovery of Tahe oilfield [J]. Geomechanics Journal, 2002, 8(3): 201~206
- 3 柏松章, 唐飞. 裂缝性潜山基岩油藏开发模式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1981, 89~96
Bai Songzhang, Tang Fei. The development model of fractured buried hill bedrock oil reservoir [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1981, 89~91
- 4 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 75~80
Xiao Yun, He Fengyu, Sun Yimei. Reservoir characteristics of Paleocene carbonates: a case study of Ordovician paleocave in Tahe oilfield, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 75~80
- 5 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120~124
Zhang Kang. The discovery of Tahe oilfield and its geologic implication [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 120~124
- 6 刘林玉, 柳益群, 李文厚, 等. 碳酸盐岩气藏出水特征分析——以华北油田苏4气藏为例 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(3): 324~326
Liu Linyu, Liu Yiqun, Li Wenhui et al. Water out characteristics analysis of carbonate gas reservoir taking Su4 gas reservoir in Huabei oilfield as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(3): 324~326

(编辑 李军)