

文章编号:0253-9985(2010)01-0033-05

缝洞型碳酸盐岩油藏水驱曲线特征

——以塔河油田奥陶系油藏为例

陈青², 易小燕², 闫长辉^{1,2}, 王旭²

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059)

摘要:水驱曲线法在我国已广泛地应用了多年,无论是理论还是实践一般仅限于砂岩油藏,而碳酸盐岩油藏水驱特征比砂岩油藏更复杂,多变。以塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏为例,通过水驱曲线的形态,归纳水驱曲线具有3种类型:单一直线段、两直线段(呈台阶状),不规则的水驱曲线。其中,台阶状反映了碳酸盐岩油藏具有缝洞发育、水体能量不稳定、水驱规律复杂的特征,并具有能量下降波及不同水体。通过典型井的水分析资料,验证了同一个缝洞单元内存在多个水体供给能量。

关键词:水驱曲线;水驱规律;碳酸盐岩;缝洞型油藏;奥陶系;塔河油田

中图分类号:TE344

文献标识码:A

Water drive curves of fractured-vuggy carbonate rock reservoirs

—taking the Ordovician carbonate reservoirs in Tahe oilfield as an example

Chen Qing², Yi Xiaoyan², Yan Changhui^{1,2}, and Wang Xu²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Although widely applied in China for years, the application of water drive curve method has been generally limited to the study of sandstone reservoirs both in theory and practice. This time, however, it is used in the study of the Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe Oilfield. The water drive performance of carbonate reservoirs is much more complicated and changeable than that of sandstone reservoirs. Three types of curves are observed in the study of these reservoirs, including regular curve with single linear portion, regular curve with two linear portions (step-like curve), and irregular curve. Among them, the second one reflects such features of these reservoirs as well-developed fracture and vugs, unstable water body energy, and complicated water-driving pattern. It also indicates that the decline of energy affects different water bodies. An analysis of water from a typical well verifies the existence of several water bodies in one fractured-vuggy unit.

Keywords: water drive curve, regular pattern of water drive, carbonate rock, fractured-vuggy reservoir, Ordovician, Tahe oilfield

水驱曲线法是研究水驱规律的一种方法,主要是研究累积产油量、累积产水量、累积产液量之间的关系^[1],在油田开发动态分析中得到广泛应用^[2]。水驱特征曲线分为两大类,一类是一般的水驱曲线^[3],反映一种含水上升规律,如甲型水驱曲线^[4],描述水驱开发油田的累积产水量与累积

产油量之间的半对数直线关系^[5];另一类是广义水驱特征曲线^[4],如张金庆水驱曲线^[4]、俞启泰水驱曲线^[5],其斜率可以反映不同的含水上升规律,即含水率与可采储量、采出程度的关系。

水驱曲线法在我国已广泛地应用了多年^[5~8],其经验表明,甲型水驱曲线法和丙型水驱曲线法的

收稿日期:2009-07-31。

第一作者简介:陈青(1969—),女,博士、副教授,油气田开发工程、油藏工程。

实用性最好,两者具有较好的可比性和一致性。甲型水驱曲线法可以预测水驱油田达到某一经济含水率时的可采储量^[9,10],也可以对油田的地质储量作出大致的评估。丙型水驱曲线法,除可以预测水驱油田达到某一含水率时的可采储量外,还可以预测水驱油田的可动油储量^[11,12]和体积波及系数^[13]。然而,令人遗憾的是水驱曲线法的研究一般用于砂岩油藏,对缝洞型碳酸盐岩油藏的研究少见。本文以塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏为例,主要研究甲型水驱曲线在缝洞型碳酸盐岩油藏中的应用。

1 水驱曲线的特点

“甲型”水驱曲线,描述水驱开发油田的累积产水量与累积产油量之间的半对数直线关系,适用于注水开发和具有活跃边水的刚性水驱油田。该曲线在开发中后期呈现明显的直线段,其直线斜率的 B_1 值取决于油藏地质储量的大小^[14],因此可利用甲型水驱曲线预测油藏地质储量^[15]和可采储量,甲型水驱曲线关系式为

$$\lg W_p = A_1 + B_1 N_p \quad (1)$$

式中: W_p 为累积产水量, 10^4t ; N_p 为累积产油量, 10^4t 。

典型的甲型水驱曲线分为 3 段(图 1):第 I 段曲线代表水驱作用刚刚影响油藏,水驱能量并不稳定;第 II 段中间直线段,代表油藏进入全面水驱状态,水驱能量稳定[公式(1)就是这一直线段的表达式];第 III 段曲线,油藏进入高含水、特高含水期,即水驱特征曲线出现上翘现象,油井水淹。一般来说,目前对于水驱曲线的研究无论是理论,还是实践都仅限于砂岩油藏,而碳酸盐岩油藏水驱特征不同于砂岩油藏。

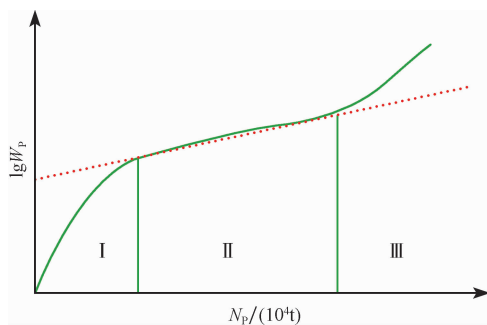


图 1 砂岩油藏甲型水驱曲线

Fig. 1 Type A water drive curve of sandstone reservoirs

2 塔河油田奥陶系油藏水驱曲线特点

通过对塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏水驱曲线进行的大量分析,发现其大体上有 3 种类型:单一直线段、两直线段呈台阶状(图 2)及不规则的水驱曲线。塔河油田奥陶系油藏属于缝洞发育、非均质性强的碳酸盐岩油藏,储集空间复杂,水驱曲线形态所反映的并不完全是(图 1)3 段式形态即单一直线段,还有很多缝洞单元单井水驱曲线直线段 II 呈台阶状(图 2)。生产一个阶段后,当压降波及到另一个残留水体,会出现直线段 I',此时属于波及另一个残留水体的初期阶段,水驱能量不稳定,类似于第 I 段,当水驱能量再次稳定时,又会出现直线段 II',反映了碳酸盐岩油藏水驱规律的复杂性,说明了水体能量不稳定,具有多个供给区的生产动态特征。第 III 段仍然反映油藏进入高含水、特高含水期,油井水淹的水驱规律。本次主要研究塔河四区、八区油田,总结了大量缝洞单元的 142 井次的水驱曲线,认为缝洞型碳酸盐岩油藏典型水驱曲线是以这种两直线段为特点的水驱曲线。

3 水驱曲线特征及验证

以 T701 井、TK435 井为例,综合 T701 井的各种地质资料及水驱曲线判断 T701 井存在两个水体,同一个缝洞单元内存在的两个水体的水质是有差异的,并且通过 T701 井的水分析资料,进行了验证;依据 TK435 井与 TK461 井的生产曲线,将其生产特征进行对比分析,结合水驱曲线,综合判断 TK435 井波及了两个水体。

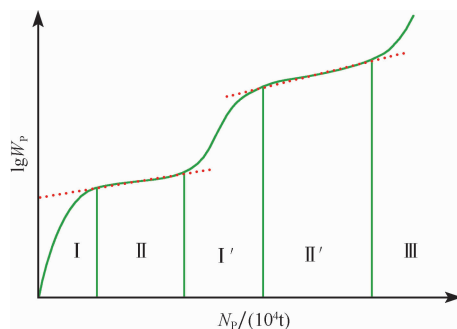


图 2 碳酸盐岩油藏甲型水驱曲线

Fig. 2 Type A water drive curve of carbonate rock reservoirs

3.1 T701 井水驱曲线及水分析资料验证

T701 井位于岩溶过渡区,出露地层为恰尔巴克组。从生产特征来看,初期水产量、含水量均较高,后期产油、产水都呈下降趋势,表现为定容特征;该井在 5 652.98 ~ 5 655.50 m, 5 691.00 ~ 5 693.50 m 发生钻具放空现象。研究发现该井断裂不发育、与周围井连通差,可能是局部定容体。通过产液剖面及 PND 测井,分析认为该井的油、水产出分别来自两个不同的层位:5 629.0 ~ 5 654.5 m 井段主要产油,其中日产油 137.7 t, 日产水 1 m³; 5 685.0 ~ 5 691.5 m 井段只产水, 日产水为 77 m³。前人综合测井解释、地震解释和产液剖面等多方面资料证实了 T701 井存在两个水体,这也从地质角度证明了同一个缝洞单元内存在两个水体供给能量。从该井水驱曲线来看,直线段具有明显的台阶状,第一个直线 II 段代表上

方溶洞产水规律,生产一段时间随着压降波及到下方一个残余水体,在水驱曲线上出现了第二个直线段 II',反映了这个残余水体的水驱规律。在水体逐渐推进的同时,水质也有明显的差异。图 4、图 5、图 6 是 T701 井水驱曲线与对应的水样分析对比图。图 4 前、后两个直线段对应的矿化度有差异,图 5 前、后两个直线段对应的碳酸氢根离子含量有明显差异,地层水的密度(图 6)测试也有差异,说明了 T701 井在生产过程中波及到了两个水体,由于两个水体间水质发生了明显的差异,进一步证实了碳酸盐岩油藏的两直线段水驱曲线存在两个水体。

3.2 TK435 井生产特征与水驱特征

经前人研究^①, S65 单元 TK435 井和邻井 TK461 井油水关系如图 7,油水分布模式属于洞-缝-洞组合形式。TK435 井水驱曲线(图 8)具有

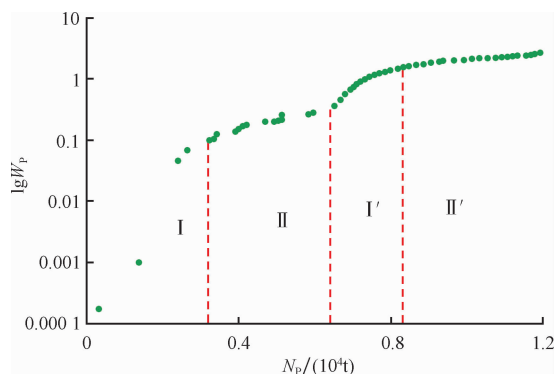


图 3 T701 井水驱曲线

Fig. 3 Water drive curve of Well T701

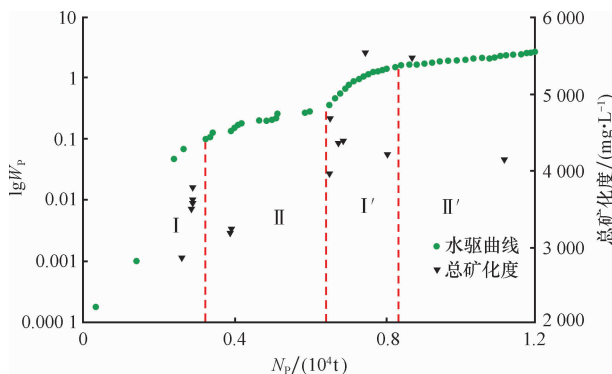


图 4 T701 井水驱曲线与总矿化度变化曲线

Fig. 4 Curves of water drive and total salinity in Well T701

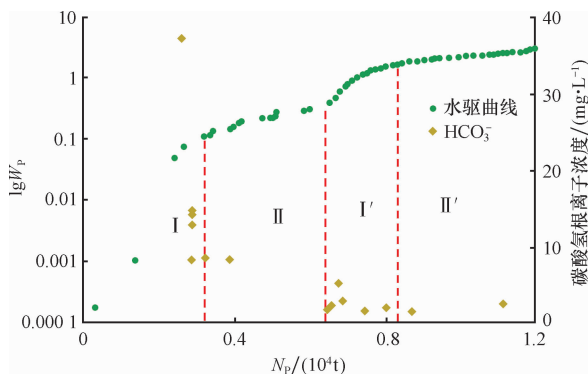


图 5 T701 井水驱曲线与碳酸氢根离子浓度变化曲线

Fig. 5 Curves of water drive and bicarbonate ion concentration in Well T701

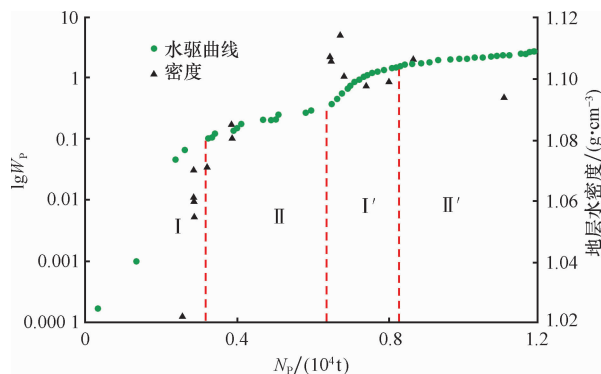


图 6 T701 井水驱曲线与地层水密度变化曲线

Fig. 6 Curves of water drive and formation water density in Well T701

① 闫长辉,陈青. 油田 4 区主力缝洞单元油水界面分析及综合治理. 中石化西北分公司采油一厂, 2008

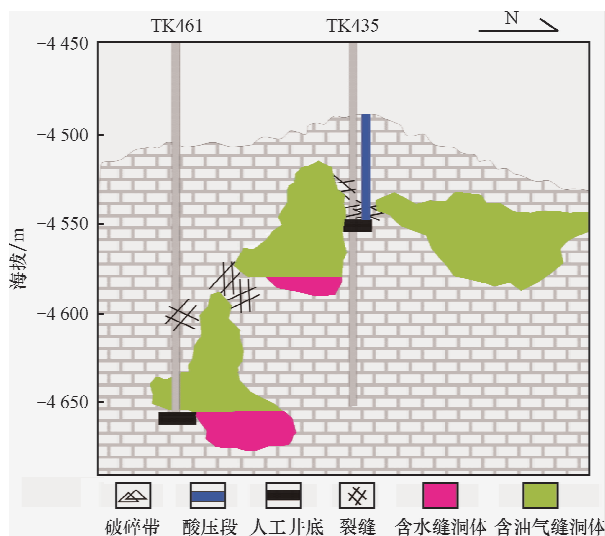


图 7 TK435—TK461 井油水分布模式

Fig. 7 Water/oil distribution pattern in Well TK435 - TK461

典型的台阶状,类似于(图 2)所示的碳酸盐岩油藏水驱曲线的形态,水驱过程波及到了两个水体。

TK435 井生产层段 5 440.5 ~ 5 500.0 m,通过产液剖面及 PND 测井,结果该井主要产出段在 5 475.0 m 以上,5 474.0 ~ 5 483.0 m 为次产油层,

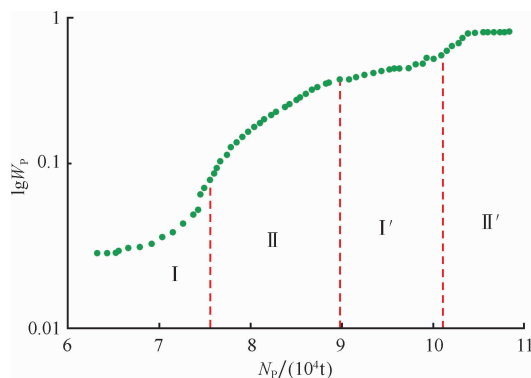


图 8 TK435 井水驱曲线

Fig. 8 Water drive curve of Well TK435

5 483.0 m 以下为底水层,水出自同一层位。2001 年 4 月 19 日投产,2002 年 11 月 23 日见水,无水采油 579 d。2002 年 11 月 24 日开始,由酸压裂缝沟通产层旁的溶洞,油水同产,这一阶段含水稳定上升(图 9),直到 2005 年 6 月 1 日,当累计产油量生产到 9.97×10^4 t 时,压降波及到邻井 TK461 井,含水开始快速上升,而 TK461 井此时正是(2005 年 6 月 1 日)含水率由 57% 上升到 93% 油水淹阶段(图 10),由油水分布模式图(图 7),说明邻井 TK461 水体已经通过裂缝开始向 TK435 井

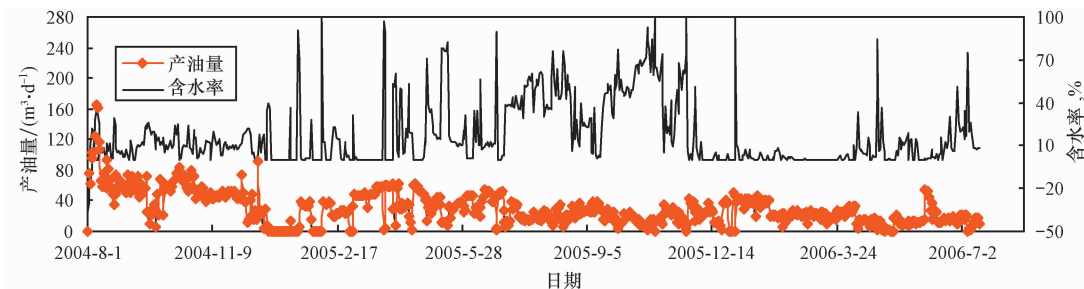


图 9 TK435 井生产曲线

Fig. 9 Production curve of Well TK435

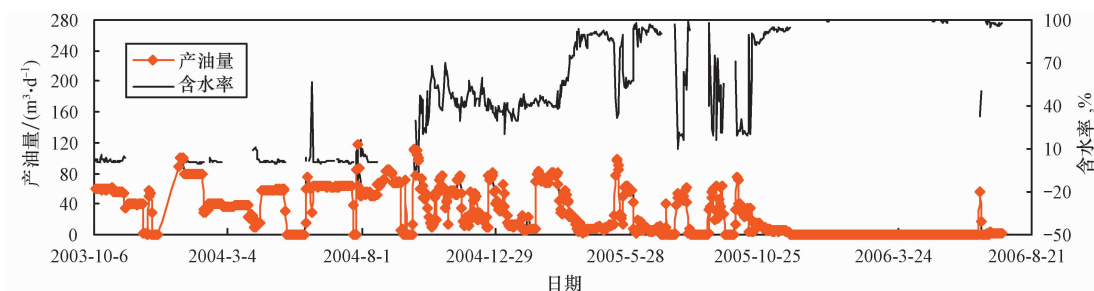


图 10 TK461 井生产曲线

Fig. 10 Production curve of Well TK461

供给。这一生产特征从 TK435 井水驱曲线直线段呈台阶状可以看出,第一个直线 II 段代表产层附近的一个残余水体,第二个直线段 II' 则代表邻井 TK461 井区的水体。

4 缝洞型碳酸盐岩油藏水驱曲线应用

将缝洞型碳酸盐岩油藏两直线段水驱曲线应用于生产,对于指导生产过程开发措施调整提供可靠的依据。通过本文研究认为 T701 井存在两个水体,T701 井生产历史来看含水率上升比较快一直是 80% 以上,有水淹趋势。下部水体通过裂缝上窜至井筒,导致上部出油层的出油能力受到一定的限制,因此需要封住下部出水层,以解放上部产油层。为了延长该井堵水有效期,增加该井产能,该井于 2004 年 11 月 10 日进行了深部堵水施工,对下部产水层进行化学封堵、封堵地层深部纵向裂缝,提高该井水泥塞塞面高度,达到封下采上的目的,防止水淹,酸洗过程返出原油 2 m^3 ,堵水取得了一定的效果。根据前面研究认为 TK435 井油水分布属于洞缝洞组合,建议对其生产动态进行实时监控,一旦发现含水率突然上升就应该及时采取堵水的措施,防止 TK435 井水淹。

如果其它单井油水关系、水驱曲线和生产动态与 T701 井和 TK435 井相类似,就应该注意生产后期水淹问题,借鉴 T701 井经验应及时采取堵水,以防止水淹,达到稳油控水提高产量的目的。

5 结论

1) 碳酸盐岩油藏典型水驱曲线是以两直线段呈台阶状为特点的,反映了碳酸盐岩油藏具有缝洞发育、水体能量不稳定、水驱规律复杂的特征,能量下降波及不同水体。

2) 选取两口典型井并对其两直线段水驱曲线进行详细论证。根据水分析资料、生产特征曲线证明了台阶状水驱曲线具有多个水体供给能量。

3) 对于碳酸盐岩油藏具有两直线段水驱曲线特征的单井,应该注意开发中后期及时采取堵水以防止水淹。

参 考 文 献

- 1 王庆华,王新海,刘世祥. 常用水驱特征曲线在八面河油田中的应用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(6):760~761
- 2 刘斌. 曙光油田曙二区剩余油分布特征研究[J]. 断块油气藏,1995,(4):22~27
- 3 俞启泰. 关于如何正确研究和应用水驱特征曲线——兼答《油气藏工程实用方法》一书[J]. 新疆石油地质,2000,27(5):122~126
- 4 Gao Wenjun,Xu Jun. Theoretical study on common water-drive characteristic curves[J]. Shiyou Xuebao,2007,28(3):89~92
- 5 童宪章. 天然水驱和人工注水油藏的统计规律探讨[J]. 石油勘探与开发,1978,6:38~39
- 6 张金庆. 一种简单实用的水驱特征曲线[J]. 石油勘探与开发,1998,25(3):56~57
- 7 俞启泰. 水驱油田的驱替特征与递减特征[J]. 石油勘探与开发,1995,(1):39~42
- 8 陈元千. 水驱曲线关系式的推导[J]. 石油学报,1985,6(2):69~78
- 9 任玉林,袁向春,刘地渊,等. 蹇城油田的整体开发调整[J]. 石油与天然气地质,2004,25(4):452~454
- 10 冉启佑,赵庆飞,方开璞,等. 水驱油田剩余经济可采储量计算方法[J]. 石油与天然气地质,2005,26(3):379~383
- 11 陈志海,常铁龙,刘常红. 缝洞型碳酸盐岩油藏动用储量计算新方法[J]. 石油与天然气地质,2007,28(3):315~328
- 12 罗万静,唐海龙,王晓冬,等. 压降法在涩北一号气田的应用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):84~87
- 13 陈元千,王惠芝. 丙型水驱曲线的扩展推导及其在埕北油田的应用[J]. 中国海上油气,2004,16(6):392~394
- 14 童宪章. 油井产状和油藏动态分析[M]. 北京:石油工业出版社,1981. 39~60
- 15 陈元千. 现代油藏工程[M]. 北京:石油工业出版社,2001. 151~153

(编辑 高岩)