

# 陈堡油田泰州组水平井储层物性及水淹规律研究

张顺康, 屈宏, 孙东升, 唐韵  
(中国石化江苏油田勘探开发研究院, 江苏扬州 225009)

**摘要:**为明确陈堡油田泰州组不同水平井的水淹特征,在研究水平井水平段储层物性分布特征的基础上,开展了水平井剩余油及水淹规律的油藏数值模拟研究。根据水平段的物性分布特征,将水平井分为均匀型、两段式和多段式三种类型。数值模拟研究表明:均匀型水平井的水淹模式为线状见水整体水淹模式,两段式水平井的水淹模式为点状见水整体水淹模式,多段式水平井的水淹模式为点状见水局部水淹模式。在确定不同类型水平井水淹规律的基础上,进一步提出了相应的治理对策,有效指导了现场实际应用。

**关键词:**水平井;水平段;油藏数值模拟;水淹模式

**中图分类号:**TE327 **文献标志码:**A

## Study on physical property and waterflooding law of horizontal wells in Taizhou Formation of Chenbao Oilfield

ZHANG Shunkang, QU Hong, SUN Dongsheng, TANG Yun

(Exploration and Development Research Institute of Jiangsu Oilfield, SINOPEC, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** In order to clarify waterflooding characteristics of horizontal wells in Taizhou Formation ( $K_2t_1^3$ ) of Chenbao Oilfield, it was carried out study on distribution characteristics of reservoir physical properties in horizontal section. On this basis, combined with reservoir numerical simulation, it was carried out studies on remaining oil distribution and water-out characteristics for three horizontal wells. According to the distribution characteristics of reservoir physical properties in the horizontal section, the horizontal wells were divided into three types: uniform, two-stage and multi-stage. Results of numerical simulation showed that the waterflooding mode for uniform horizontal wells is linear breakthrough waterflooding in the whole horizontal section; the waterflooding mode for two-stage horizontal wells is punctiform breakthrough waterflooding in the whole horizontal section; the waterflooding mode for multi-stage horizontal wells is punctiform breakthrough waterflooding in the local horizontal section. Finally, adjustment measures for different types of horizontal wells were proposed to effectively guide the field application.

**Key words:** horizontal well; horizontal section; reservoir numerical simulation; waterflooding mode

陈堡油田泰州组( $K_2t_1^3$ )层系为厚层块状底水油藏,1997年投入开发,依靠天然能量逐层上返的方式开采,采用水平井与常规井组合的方式进行开发。目前该油藏已进入高含水阶段,水平井普遍水淹。受储层物性的影响,不同的水平井在水淹规律方面存在较大差异。为了明确不同水平井的水淹规律<sup>[1]</sup>,确定其潜力层段,制定合理的水平井治理对策,在研究水平井水平段储层物性分布特征的基础上,进一步结合油藏数值模拟技术,开展了水平井剩余油及水淹规律研究,提出了不同水平井的治理对策。

## 1 水平井水平段物性特征

根据区域背景资料,结合其他相标志研究,认为陈堡油田  $K_2t_1^3$  油藏为扇三角洲平原亚相沉积<sup>[2]</sup>,发育水下分流河道-陡坡、水下分流河道-缓坡、河

收稿日期:2019-04-15;改回日期:2019-07-22。

作者简介:张顺康(1979—),博士,高级工程师,现从事油藏工程研究。E-mail:Zhangsk.jsyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化重大专项“高含水期水平井流场预测及调整技术研究”(P16051)。

口坝、间湾泥岩等微相,从示踪剂以及油水井生产动态来看,储层平面非均质性较强。对水平井水平段的储层物性进行研究分析表明<sup>[3]</sup>,该油藏水平井水平段渗透率的分布可分为三类:均匀型、两段式和多段式。

(1)均匀型:水平井穿过同一小层相似部位或穿过物性相近的不同小层,渗透率变化不大。一般位于分支河道内,电性曲线相对稳定,储层横向变化小。如陈3平2井水平段钻遇  $K_2t_1^{3-8a} - K_2t_1^{3-8b}$ ,其中  $K_2t_1^{3-8a}$  渗透率和  $K_2t_1^{3-8b}$  相当(见图1)。

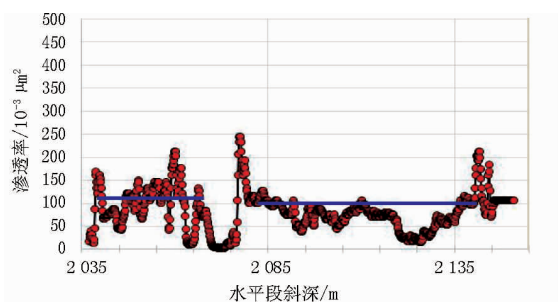


图1 陈3平2井水平段渗透率分布

(2)两段式:水平井穿过:①同一小层同一相带物性有差异的不同部位,陈3平15井水平段均在  $K_2t_1^{3-4a}$  的辫状水道中,但渗透率因物性差异而不同;②同一小层不同相带,陈3平15井水平段穿过  $K_2t_1^{3-1a}$  的辫状水道和次级水道边缘,渗透率呈两段式(见图2);③穿过物性有差异的不同小层,陈3平3井水平段穿过  $K_2t_1^{3-8a} - K_2t_1^{3-8b}$ ,渗透率呈两段式(见图3)。此类情况的水平段一般位于河道边部,测井曲线为阶梯状,储层横向存在变化。

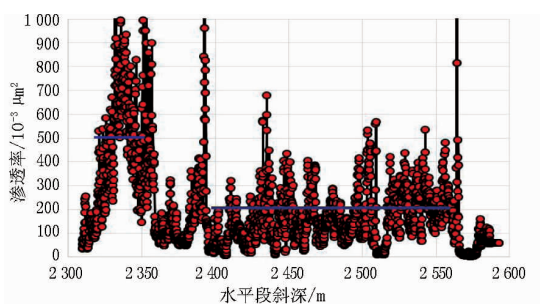


图2 陈3平15井水平段渗透率分布

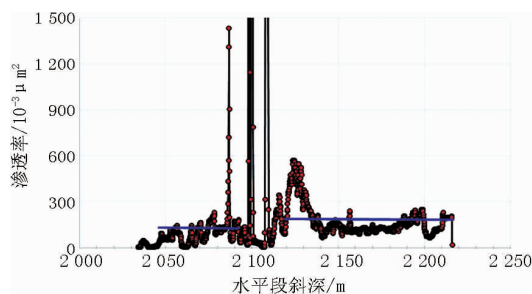


图3 陈3平3井水平段渗透率分布

(3)多段式:大多数水平井是多段式(见图4),如陈3平21井明显看出渗透率呈三段式,多段式原因比较复杂:①穿过不同小层;②穿过同一小层的不同相带;③穿过同一小层内同相带平面渗透率有差异区域;④穿过小层的垂向位置不同(贴近小层顶底渗透率偏小);⑤由于轨迹原因引起的(贴近隔夹层或距断层较近)。此类水平段一般钻遇多条或多期分支道,测井曲线呈跳跃状,储层横向变化快。

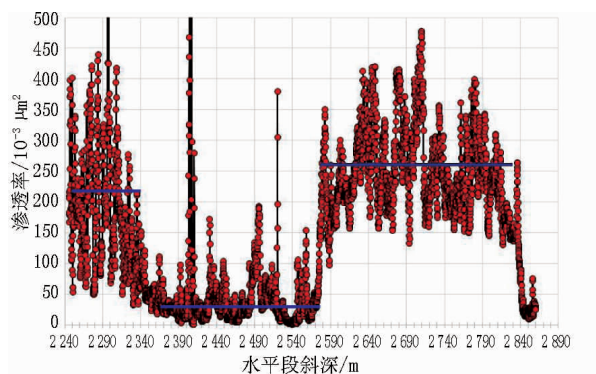


图4 陈3平21井水平段渗透率分布

需要说明的是,上述三种水平井水平段在层顶部或底部或夹层里钻进时,钻遇地层渗透率并不能反映储层的真实渗透率,同时也会出现某些位置渗透率异常的情况。

## 2 水平井水淹规律

### 2.1 水平井水淹规律

根据陈堡油田  $K_2t_1^3$  油藏构造特征和储层物性特征(见图5),建立概念模型,研究不同储层物性条件下水平井的水淹规律。模型地质参数如下:地层顶深 2 000 m,平面渗透率  $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,岩石压缩系数  $3.53 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$ ,孔隙度 0.25,原始地层压力 20 MPa,水压缩系数  $4.75 \times 10^{-4} \text{MPa}^{-1}$ ,原油黏度 10 mPa·s,水黏度 0.43 mPa·s,模拟时依靠天然能量开发,水平井日产液  $30 \text{ m}^3/\text{d}$ ,模型计算到含水 95% 结束。

根据水平井的储层物性分布规律,建立三种概念模型,如图5所示。在保持模型平均渗透率相同( $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )的情况下,分别模拟不同类型水平井含水上升规律。其中均匀型水平井水平段穿过渗透率为  $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的储层,如图5(a)所示;两段式水平井水平段穿过渗透率分别为  $150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $300 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的储层,如图5(b)所示;三段式水平井水平段穿过渗透率为  $(150, 300, 450) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的储层,如图5(c)所示。

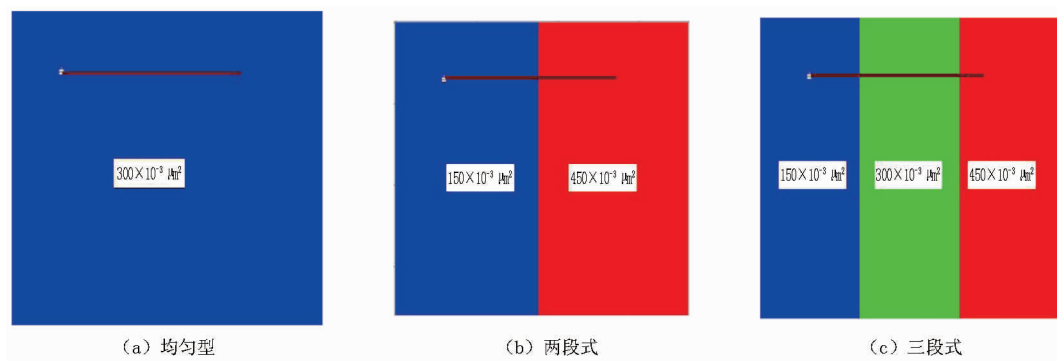


图5 水平井水平段物性分布模式

### 2.1.1 均匀型水平井水淹规律

模拟结果表明:这种类型水平井无水采油期长,为主要采油期,占累产量的 50% 左右,水平井生产过程中水线推进均匀,见水后含水上升较快,高含水期含水上升减缓,高含水后生产潜力小,水淹模式为线状见水整体水淹模式<sup>[4]</sup>,如图 6(a)所示。

### 2.1.2 两段式水平井水淹规律

模拟结果表明:这种类型水平井在低含水期与高含水期含水上升较缓,中高含水期含水上升较快,无水采油期较短,主要采油期为无水与中低含水期,

占累产量的 60% 左右,水平井生产过程中水线推进不均匀,油井高含水后具备一定的挖潜潜力,水淹模式为点状见水整体水淹模式<sup>[3]</sup>,如图 6(b)所示。

### 2.1.3 三段式水平井水淹规律

模拟结果表明:这种类型的水平井无水采油期短或没有,中低含水期较短、含水上升较快,主要产油期为中高含水期及特高含水期,占油井累产量的 60% 以上,水平井生产过程中水线推进不均匀,油井高含水后具备较大的挖潜潜力,水淹模式为点状见水局部水淹模式<sup>[3]</sup>,如图 6(c)所示。

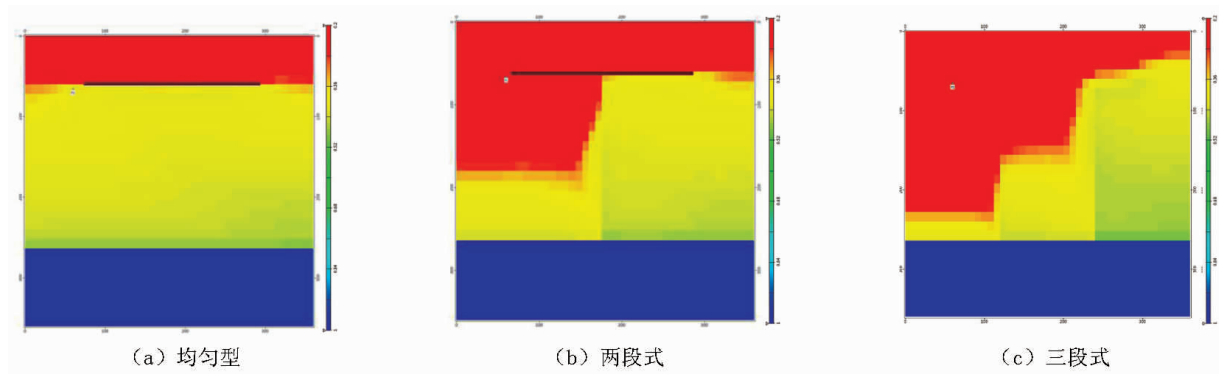


图6 不同水平井水淹状况

陈堡油田  $K_2t_1^3$  油藏实际水平井的生产动态也验证了上述规律。

目前,陈3平2、陈3平15和陈3平21井均处于高含水阶段,如图7所示。陈3平2井水平段物性分布较均匀,属均匀型(见图1),该井无水采油期较长,低含水期(含水<20%)累产油达到  $5.8 \times 10^4$  t,占该井累积产油的 52.7%;陈3平15井属于两段式(见图2),该井也有一定的无水采油期,但时间较短,中低含水期累产油达到  $2.1 \times 10^4$  t,占目前该井累积产油的 66.6%;而陈3平21井属于三段式(见图4),该井投产即见水,见水后含水上升较快,进入中高含水阶段(含水>60%)以来累产油达到  $0.66 \times 10^4$  t,占该井累积产油的 54.5%。

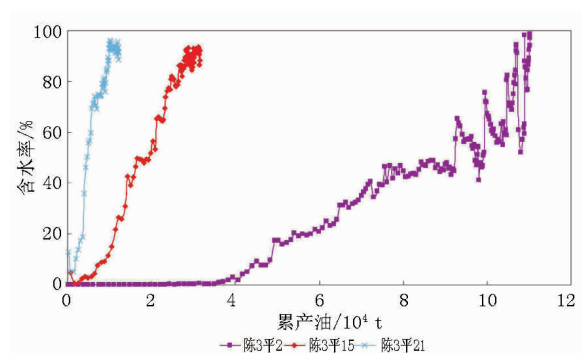


图7 水平井生产情况统计

## 2.2 储层非均质性对水平井水淹规律的影响

之所以将水平井分成均匀型、两段式和多段式,本质上是由于水平井水平段钻遇的储层形成了不同

的非均质性<sup>[5]</sup>。为此,进一步结合数值模拟<sup>[6]</sup>研究了储层非均质性对水平井水淹规律的影响。设定在保持模型平均渗透率不变的情况下,水平井水平段穿过不同非均质性的网格(对应的洛伦兹系数<sup>[7]</sup>不同),模拟计算出的水淹状况如图8所示。数值模

拟研究结果表明:当洛伦兹系数小于0.3时,水平井水淹模式为线状见水整体水淹;当洛伦兹系数在0.3~0.7时,水平井水淹模式为点状见水整体水淹;当洛伦兹系数大于0.7时,水平井水淹模式为点状见水局部水淹。

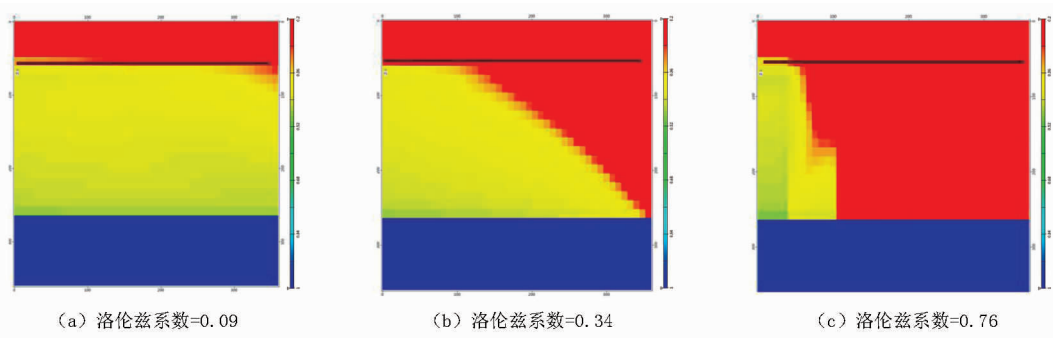


图8 不同洛伦兹系数条件下对应的水淹状况

### 2.3 水平井治理技术对策

(1)均匀型水平井:均匀型水平井在高含水阶段整体动用程度较高,水平段普遍水淹。该类水平井储层物性较好,在高含水阶段的治理对策主要是通过放大生产压差和提高液量,后期可考虑转换开发方式,实施三次采油。

(2)两段式水平井和多段式水平井:受储层物性影响,两段式水平井、多段式水平井的水平段动用状况均存在较大差异,在高含水阶段水平段高渗段动用程度高,低渗段动用差或没有动,治理时针对高渗透段可采用卡堵水手段,有效启动低渗透段。此外,还可结合直井调补层、注水等实施流场调整来动用低渗段。

## 3 现场应用

根据前文研究成果,对陈堡油田  $K_2t_1^3$  油藏部分水平井开展了综合调整实践。如陈3平15井,结合储层物性分布(如图2所示)和水淹规律研究结果,认为该水平井的水淹模式为点状见水整体水淹,其趾端储层物性较差,动用程度较低。为此,在2017年下半年对其趾端附近陈检1井实施补层措施,同时对趾端附近的水井进行补层注水实施流场调整。实施以后日产油7.5 t,含水72.4%,日增油超过了5 t,取得了较好的调整效果。

## 4 结论

(1)根据陈堡油田  $K_2t_1^3$  油藏水平井水平段的

储层物性分布特征,将水平井分为三种类型:均匀型、两段式和多段式。

(2)结合油藏数值模拟,对不同类型水平井的水淹规律进行了研究。结果表明,均匀型水平井水淹规律表现为线状见水整体水淹模式,两段式水平井水淹规律表现为点状见水整体水淹模式,多段式水平井水淹规律表现为点状见水局部水淹模式。

(3)在确定不同类型水平井水淹规律的基础上,进一步提出了相应的治理技术对策,有效指导了现场实际应用。

### 参考文献:

- [1] 王嘉淮,刘延强,杨振杰,等. 水平井出水机理研究进展[J]. 特种油气藏,2010,17(1):6-11.
- [2] 陈清华,史鹏,庞飞,等. 陈堡油田陈3断块开发中后期三维地质建模[J]. 石油天然气学报,2008,30(6):161-164.
- [3] 渠冬芳,陈清华,廖光明. 陈堡油田陈3断块泰一段储层特征研究[J]. 内蒙古石油化工,2009,23:119-123.
- [4] 周代余,江同文,冯积累,等. 底水油藏水平井水淹动态和水淹模式研究[J]. 石油学报,2004,25(6):73-77.
- [5] 孟宁宁,刘怀山,张金亮,等. 黑46断块低渗油藏非均质性研究及其对剩余油分布的影响[J]. 海洋地质与第四纪地质,2016,36(1):143-150.
- [6] 郑俊德,高朝阳,石成方,等. 水平井水淹机理数值模拟研究[J]. 石油学报,2006,27(5):99-103.
- [7] 刘超,马奎前,李红英,等. 基于洛伦兹曲线法定量表征储层非均质性方法的改进与应用[J]. 中国海上油气,2012,24(2):36-38.

(编辑 谢 葵)