

# 陈3断块泰州组厚油层油藏高含水期隔夹层控油模式研究

屈 宏,薛 丹,孙东升,黄艳梅,张顺康

(中国石化江苏油田分公司勘探开发研究院,江苏 扬州 225009)

**摘要:**厚油层油藏高含水期隔夹层对油田的开发具有重要影响。陈堡油田陈3断块泰州组一段三砂层组( $K_2t_1^3$ )油藏为中孔-中渗厚油藏,采用水平井加常规井组合开发模式,目前已到高含水开发期,油藏内部隔夹层引起的储层非均质是影响剩余油的主要因素之一。在密闭取心井隔夹层研究的基础上,动静态结合研究纵向19个隔夹层类型、封堵性能、平面纵向等分布特征,结合油藏概念模型模拟总结隔夹层控油模式,为后期开发调整挖潜剩余油提出建议。

**关键词:**陈堡油田 厚油层油藏 隔夹层 数值模拟 剩余油分布

中图分类号:TE323 文献标志码:A

## Oil control model of interlayer in thick reservoir of Taizhou Formation in Chen 3 fault block at high water cut stage

QU Hong, XUE Dan, SUN Dongsheng, HUANG Yanmei, ZHANG Shunkang

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

**Abstract:** Interbedding of thick reservoir in high water cut stage has important influence on oilfield development. The  $K_2t_1^3$  reservoir of Chen 3 fault block in Chenbao Oilfield is a medium-porosity and medium-permeability thick reservoir, where the development model of horizontal well and conventional well combination was adopted. Now it has entered the stage of high water cut development. The reservoir heterogeneity caused by interlayer in the reservoir is one of the main factors affecting the remaining oil. Based on the study of interlayer in sealed coring wells, we combined static and dynamic analysis to study the distribution characteristics of 19 interlayer types, sealing performance, plane and vertical distribution, etc. And combined with the reservoir conceptual model, we simulated and summarized the interlayer oil control mode, and put forward suggestions for later development and adjustment of tapping potential remaining oil.

**Key words:** Chenbao Oilfield; thick reservoir; interlayer; numerical simulation; residual oil distribution

江苏油田厚油层油藏已进入开发中后期,部分油藏已进入特高含水阶段。开发过程中,这些油藏逐渐暴露出剩余油认识不清、水淹规律复杂等问题,本研究主要针对厚油层油藏进行地质再认识。隔夹层的分布直接影响到今后的油气开采和剩余油分布,为完成精细油藏描述、合理布井开发和剩余油挖潜,隔夹层的分布研究必不可少<sup>[1]</sup>。本研究主要针对陈堡油田陈3断块 $K_2t_1^3$ 油藏开展隔夹层控油模式研究。

## 1 概况

陈堡油田位于高邮凹陷东部吴堡-博镇断裂带中段吴1大断层上升盘,陈3断块 $K_2t_1^3$ 油藏是受构

造、断层控制的边底水块状砂岩油藏,为扇三角洲平原沉积,地层厚度78~94 m,储层平均厚度59.2 m,小层最大厚度达16.5 m,各小层平均厚度多大于4 m,油藏具有厚油层特征。

## 2 陈3断块 $K_2t_1^3$ 油藏隔夹层识别与描述

### 2.1 隔夹层概述

陈3块 $K_2t_1^3$ 油藏早期从纵向上分出10个隔夹层<sup>[2]</sup>,依托10个隔夹层将陈3块 $K_2t_1^3$ 油藏分出11

收稿日期:2018-10-25;改回日期:2019-03-15。

第一作者简介:屈宏(1974—),女,高级工程师,现从事开发地质工作。E-mail:quhong.jsyt@sinopec.com。

个单砂体,开发后期又在 11 个砂体内部识别出 9 个隔夹层。根据岩心观察和电测曲线特征研究,  $K_2 t_1^3$  隔层岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩和砂质泥岩,物性夹层岩性主要为泥质细砂、泥质粉砂岩、粉砂岩、钙质或砾质沉积物。单个物性夹层的封挡性能依赖砂岩中的泥质含量,钙质夹层常分布于砂岩层顶、底与泥岩交界处,在纵向上出现的频率相对较小,砾质夹层主要位于油藏底部,无封挡性能<sup>[3]</sup>。

## 2.2 隔夹层封挡性能分析

### 2.2.1 静态资料研究隔夹层封挡性能

判断 19 个隔夹层的封挡性能需综合岩性、厚度、电性( $R$ 、 $ML$ 、 $SP$ 、 $GR$ 、 $AC$  等)、含油饱和度( $S_o$ )等

参数,并结合生产动态进行综合判断<sup>[4]</sup>。

制定隔夹层封挡参数划分标准发现<sup>[5]</sup>,隔夹层封挡最敏感参数为岩性、 $GR$  和  $S_o$ ,而厚度、 $AC$ 、 $R$ 、 $SP$ 、 $ML$  等参数敏感程度低。密闭取心井陈检 1 井①~⑦号隔夹层均为砂体间隔夹层,①~④号岩性为泥岩或砂质泥岩, $GR$  值为 85~91 API,电阻率为 4.7~8.5  $\Omega \cdot m$ ,隔层相邻储层  $S_o$  变化大,判定①~④号隔夹层具有封挡作用,⑤号  $GR$  为 81 API,泥质粉砂岩相邻储层  $S_o$  变化小,具有部分封挡作用,而⑥~⑦号夹层  $GR$  为 75~80 API,相邻储层  $S_o$  无变化,为无封挡作用夹层(见表 1)。

表 1 陈检 1 井隔夹层参数

序号	岩性	厚度/m	$GR/API$	$AC/(\mu s \cdot m^{-1})$	电阻率/( $\Omega \cdot m$ )	相邻储层含油饱和度变化	综合评价
①	灰白色粉砂质泥岩	1.0	85.02	263	8.5	强	封挡
②	棕色泥岩	2.6	89.30	256	4.7	强	封挡
③	棕色泥岩	3.2	90.46	235	4.9	强	封挡
④	灰白色砂质泥岩	1.1	85.20	254	7.5	强	封挡
⑤	灰白色泥质粉砂岩	1.2	81.04	250	5.5	弱	部分封挡
⑥	泥质含砾细砂岩	1.1	75.10	280	6.4	无	不封挡
⑦	灰白色砂质泥岩	1.0	79.20	265	6.9	无	不封挡

### 2.2.2 生产动态验证隔夹层封挡性能

油井生产时,不同隔夹层对油水的封挡程度使隔夹层上下层的含水率不同,由生产井隔夹层相邻上下层的生产动态可进一步修正隔夹层电性中的自然伽马标准。

如陈 3-15 井 1997 年投产生产  $K_2 t_1^{3-4}$  的 67 号层,1998 年 12 月高含水时封堵 67 号层改生产 66 号层,改层生产前后含水率分别为 90%、6.5%,说明 66 与 67 号层间的隔夹层封挡性能较好,66 与 67 号层间隔夹层自然伽马值为 83 API,说明隔夹层自然伽马值大于 83 API 时封挡性能较好。

陈 3-20 井 1998 年投产  $K_2 t_1^{3-4}$  的 20 号层,两年后由于含水高改生产 19 号层,改层前后含水率分别为 72.3%、74.8%,说明 19 号和 20 号层间的夹层无封挡作用,19 与 20 号层间夹层自然伽马值为 64 API。4 个月后改生产 18 号层,改层前后含水率分别为 71.7%、58%,说明 18 号和 19 号层间的隔夹层具有部分封挡作用,18 与 19 号层间夹层自然伽马值为 70 API,说明部分封挡夹层自然伽马值下限在 70 API 左右。

### 2.2.3 隔夹层封挡参数标准划分

综合动静态分析制定隔夹层封挡划分标准(见表 2、表 3)。

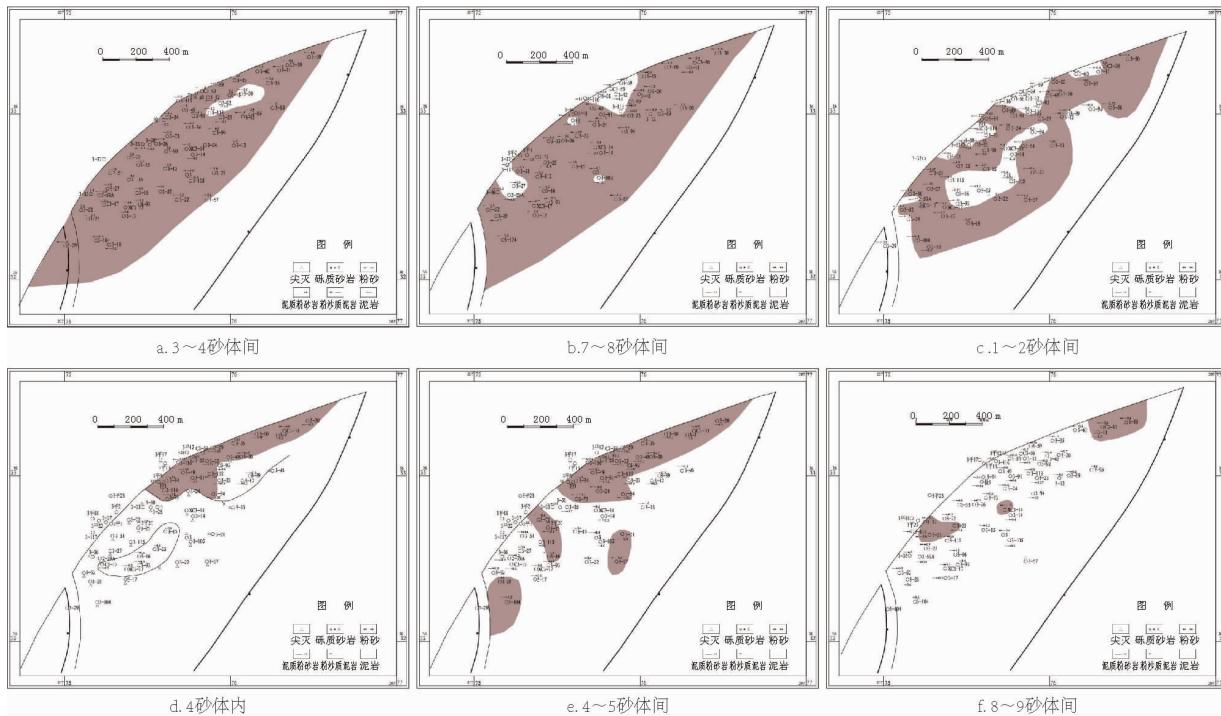
新认识与原认识相比主要在厚度、电阻率、自然伽马和声波方面做了一定调整,参数的下限稍有放宽,新标准下认识的 10 个层间封挡性能隔夹层的平面分布有了一定变化,9 个夹层的部分夹层在一定范围内具有封挡或部分封挡功能。

表 2 封挡隔夹层识别标准

项目	$K_2 t_1^3$ 隔层标准(封挡)	原标准
岩性	泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩	泥岩、粉砂质泥岩
厚度	>0.5 m	>1.5 m
分布		平面分布稳定
测井曲线	电阻率	4~9 $\Omega \cdot m$
	微电极	1.5~2.5 $\Omega \cdot m$
	自然电位	幅度很小,接近基线
	自然伽马	>85 API
	声波	<265 $\mu s/m$

表3 部分或不封挡夹层识别标准

项目	$K_2 t_1^3$ 物性夹层标准 (部分或不封挡)	原标准
岩性	泥岩和粉砂质泥岩及致密砂岩、砾岩	
厚度	0.2~1.0 m	
分布	平面分布不稳定	
测井曲线	电阻率 >6 $\Omega \cdot m$	6~10 $\Omega \cdot m$
	微电极 2~4 $\Omega \cdot m$	2.0~2.5 $\Omega \cdot m$
	自然电位 回反值与纯砂岩类比小1/3	
	自然伽马 部分封挡 80~85 API, 不封挡 <80 API	70~100 API
	声波 >265 $\mu s/m$	275~300 $\mu s/m$

图1 陈3块  $K_2 t_1^3$  封挡隔夹层平面分布

### 2.3.2 隔夹层垂向分布特征

各亚段隔夹层垂向分布密度不同, I~III亚段分布隔夹层数分别为4, 7, 8个, III亚段大多为没有封挡性能的夹层。这些隔夹层大多分布在亚段的上部, 亚段下部夹层密度较小, 地层从下到上夹层的泥质含量由小变大, 说明地层中上部隔夹层的封挡性能好于下部。

## 3 陈3断块 $K_2 t_1^3$ 隔夹层控油模式分析

剩余油的形成和分布主要受隔夹层分布特征影响<sup>[6]</sup>, 采用数值模拟方法研究陈3断块  $K_2 t_1^3$  隔夹层分布对剩余油的影响。

陈3块  $K_2 t_1^3$  3个亚段间泥质隔夹层平面连续性好, 封挡性能好, 但亚段内的隔夹层封挡性能存在

### 2.3 陈3块 $K_2 t_1^3$ 隔夹层分布特征

#### 2.3.1 隔夹层平面分布特征

隔夹层平面分布以片状和土豆状分布为主(见图1)。

由封挡性隔夹层平面图看出,  $K_2 t_1^3$  平面上大范围稳定分布作为隔层的是3~4和7~8砂体间隔层, 岩性以泥岩为主; 次稳定分布的是1~2, 4砂体层内和4~5砂体间隔夹层, 岩性以泥岩、粉砂质泥岩为主; 其他如8~9砂体间隔夹层为小范围不稳定分布隔夹层, 平面分布范围小, 对上下流体流动作用不大, 但有可能形成局部封挡。

不确定性, 根据陈3块  $K_2 t_1^3$  油藏储层分布的特点和井网形式, 建立典型的概念模型<sup>[7]</sup>, 采用常规井注水、水平井采油的模式, 油水井距离为280 m, 模型计算到含水70%后结束。根据3个亚段地层特点, 在各亚段设置不同类型的隔夹层分布特征, 模拟隔夹层对剩余油的控制作用。

### 3.1 隔夹层位置对剩余油的控制

根据陈3块  $K_2 t_1^3$  油藏隔夹层发育特征, 分别在水井和油井附近设置隔层。对比两种情况剩余油分布(见图2)可以看出, 当隔层位于水井附近时, 其对剩余油的影响相对较弱, 受注入水的影响, 水井周围没有什么剩余油。当隔层位于油井周围时, 夹层对剩余油控制作用较为明显, 在油井周围比较容易形成剩余油。

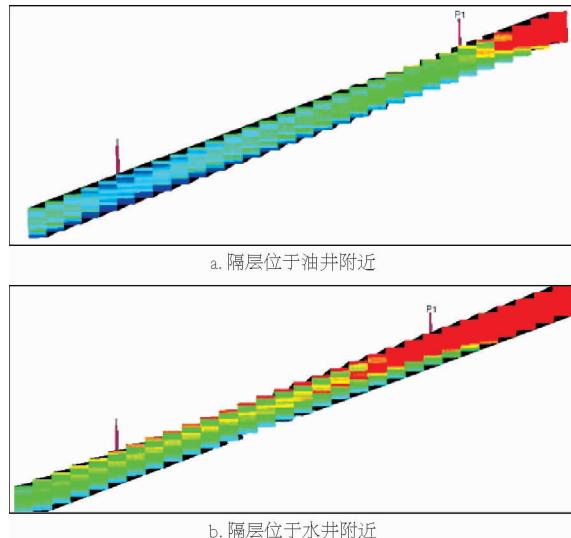


图 2 不同隔夹层位置时剩余油分布

### 3.2 隔夹层密度对剩余油的控制

在油井附近分别设置 1 条和 3 条夹层, 研究隔夹层密度对剩余油的控制。从图 3 可以看出, 夹层数量越多, 对剩余油的控制越加明显。

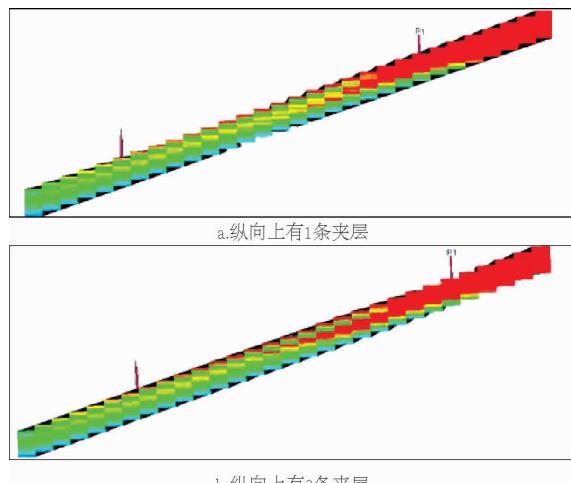


图 3 不同隔夹层密度时剩余油分布

### 3.3 隔夹层纵向夹层相对位置对剩余油的控制

纵向上设置两个相对位置较近的夹层, 并且夹层只有部分封闭的作用, 从图 4 可以看出, 纵向上如果两个部分封隔的夹层距离很近, 对剩余油也能起到很好的控制作用。

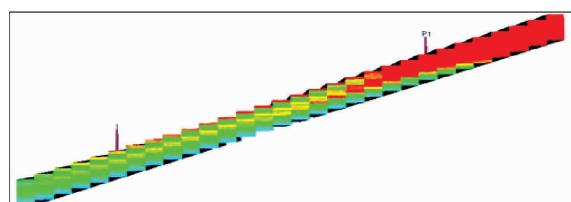


图 4 部分封隔夹层组合纵向上剩余油分布

### 3.4 纵向隔层位置对剩余油的控制

设置隔夹层位置分别位于厚油层的上、中、下三种位置, 研究纵向上夹层位置对剩余油分布的影响。从图 5 可以看出, 当隔夹层位于正韵律厚油层下部位置时对剩余油的控制作用较为明显。

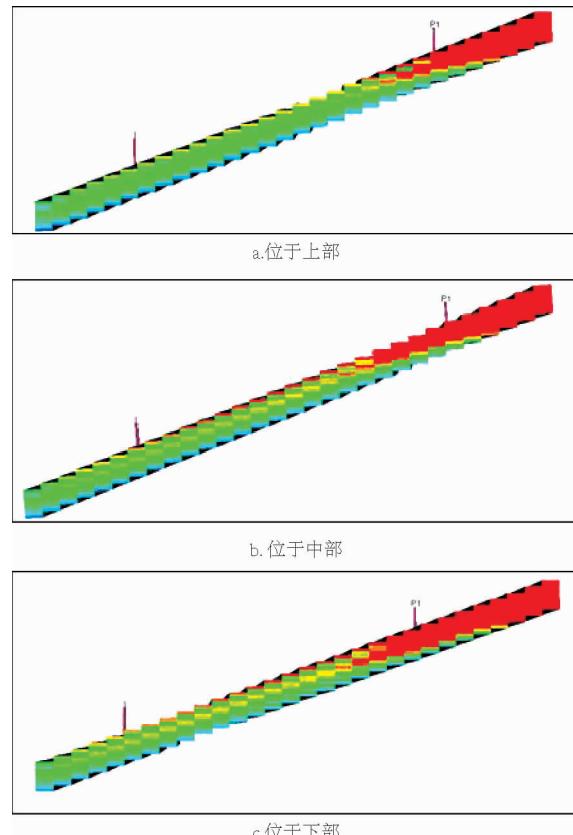


图 5 不同纵向隔层位置时剩余油分布

### 3.5 隔层平面发育规模对剩余油的控制

为了研究隔夹层平面发育规模对剩余油的控制, 分别设置夹层发育宽度为  $1/4, 1/2, 3/4$  注采井距。研究结果表明, 当隔夹层发育宽度达到  $1/2$  注采井距以上时, 对剩余油的控制作用明显。

通过模拟研究, 得出  $K_2 t_1^3$  隔夹层的控油特点:

- (1) 不稳定隔夹层分布在采油井区, 对剩余油聚集影响大。
- (2) 不稳定隔夹层垂向分布密度越大, 对剩余油聚集影响越大。
- (3) 两个部分封隔的夹层垂向分布距离较近, 对剩余油能起到很好的遮挡作用。
- (4) 隔夹层在正韵律储层下部发育时, 对剩余油聚集影响大。
- (5) 隔夹层宽度达到注采井距一半以上时, 对剩余油控制作用明显。

根据上述研究结果, 总结出陈 3 块  $K_2 t_1^3$  油藏隔

夹层的5种控油模式:

(1)三个亚段间两个稳定的隔层对油藏剩余油有封挡作用(亚段剩余油),厚油层顶部剩余油(大范围不渗透隔层,大面积连片分布)对油田开发影响较大。

(2)隔夹层平面分布范围越广,越易形成遮挡下剩余油。如1~2砂体间大范围分布此类封挡性隔层,隔夹层之下仍有部分剩余油。

(3)隔夹层分布在构造高部位采油井附近的油藏易形成隔夹层遮挡剩余油。

(4)I~II亚段隔夹层密度大,在亚段下部(正韵律底部)易形成隔夹层遮挡剩余油。

(5)部分封挡夹层组合遮挡剩余油:统计分析和数模研究发现,在单一加积垂向主要有2个部分封挡泥质粉砂岩夹层,夹层厚度为0.4~0.8 m,夹层垂向距离较近(2 m左右)且储层底部有稳定隔层时,即部分封挡+部分封挡+储层底部隔层组合(见图6),这种组合有利于剩余油富集,此类封挡一般存在于I、II亚段的底部,III亚段夹层频率低且亚段底部与赤山组属于砂-砂对接,无封挡隔层,不发育此类封挡组合。 $K_2t_1^3$ 油藏部分老井具有这种夹层特征,存在此类型剩余油。

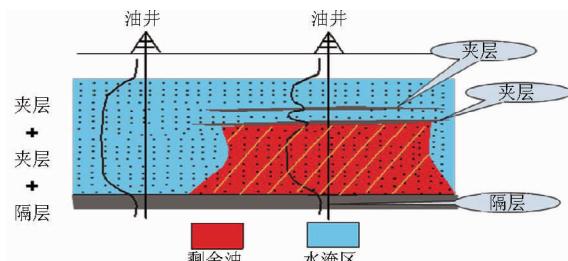


图6 部分封挡夹层组合遮挡剩余油模式

## 4 现场应用

在隔夹层控油模式指导下综合利用优化射孔、水平段分段开采、卡堵水、分采分注等方式挖潜剩余油,取得了良好效果,如陈3平14井依托层内夹层

采用分段投产,投产初期均低含水,有效提高了储量动用。陈3-92井4号砂体内两个内部夹层起到了遮挡作用,对其下部的14号层实施补孔挖潜,日增油10 t以上,增油效果明显。通过剩余油挖潜,陈3块 $K_2t_1^3$ 采收率提高2%,增加可采储量 $8.1 \times 10^4$  t。

## 5 结论和认识

(1)将 $K_2t_1^3$ 油藏厚油层重新细分为19个隔夹层,隔夹层岩性分为4类。

(2)动静态结合确定了 $K_2t_1^3$ 油藏厚油层隔层、部分封挡夹层和无封挡夹层识别标准。隔夹层平面分布以片状和土豆状分布为主,地层上部隔夹层平面分布广,下部隔夹层平面连续性差,分布零碎。 $K_2t_1^3$ 地层上部隔夹层的封挡性好于下部隔夹层。

(3)采用概念模型模拟研究了 $K_2t_1^3$ 厚油层各亚段隔夹层5种分布模式对剩余油分布的影响。

(4)结合测井资料分析隔夹层对剩余油分布的影响,总结出 $K_2t_1^3$ 油藏的5种隔夹层控油模式,可有效指导今后的剩余油挖潜。

## 参考文献:

- [1] 于兴河.油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的地质表征方法[J].地学前缘,2012,19(2):1~13.
- [2] 罗南,罗钰涵,郑红.陈堡油田 $K_2t_1^3$ 油藏隔夹层分布对开发效果的影响[J].石油地质与工程,2008,22(3):53~56.
- [3] 徐寅,徐怀民,郭春涛.隔夹层成因、特征及其对油田开发的影响[J].科学导报,2012,30(15):17~21.
- [4] 熊光勤,徐建政,毕建福.陈堡油田 $K_2t_1^3$ 厚油层内隔夹层研究与利用[J].河南石油,2005,19(4):26~29.
- [5] 刘丽.基于密闭取心井和模糊评判分析埕岛油田水淹状况[J].西北大学学报,2012,42(6):995~999.
- [6] 刘红.厚油层内夹层分布模式及其对采收率的影响[J].江汉石油学院学报,2002,24(1):44~45.
- [7] 余守德.复杂断块油田砂岩油藏开发模式[M].北京:石油工业出版社,1998:161~165.

(编辑 谢葵)