

# 非均质多油层油田逐层段上返注水开发<sup>①</sup>

吴应川<sup>\*</sup> 黄新文 卢新莉 杨莉 康健

(中原石油勘探局)

**摘要** 针对文东非均质多油层油田开发中存在的突出问题及采油工艺现状,在国内首次正式提出了一套井网、多套层系、强注强采、高速开采的逐层段上返开发的新思路,丰富了细分层系的概念,并选择试验区开展先导试验。试验取得了成功,其成果直接应用于文东油田的开发调整,获得较好的开发效果。该方法从根本上解决了非均质多油层油田层间矛盾突出、剖面动用状况差、储量水驱动用程度低等问题,实现了用较少的钻井达到细分层系、加密井网、高速开采、提高采收率的目的。

**主题词** 非均质 多油层 注水 开发 文东油田

## 1 前言

国内外已开发的油田,大多数是非均质多油层油田。各油层的特性往往彼此差异很大,不宜用一套井网笼统合采。目前,世界上新投入开发的多油层大油田,特别是注水保持压力开发的油田,基本上是采取划分多套开发层系即细分层系开发的方法。例如,前苏联的萨莫特喀尔大油田,9个油层划分为4套层系开发。大庆、胜利等油田也都是划分多套层系开发的<sup>[1]</sup>。而投产时间早,采用天然能量开发的油田有不少是采用逐层上返开发的。由此看来,细分层系是当今非均质多油层油田所普遍接受并采取的注水开发方法。

针对文东油田开发调整,提出一套井网逐层段上返注水开发的思路。其主要原理是应用一套密井网,自下而上逐段上返,每一段采用强注强采、高速注水开发政策,以期用较少的钻井实现细分层系、加密井网、高速开采并达到较高采收率的目的。

## 2 文东油田主要地质特征及对开发的要求

文东油田与渤海湾其它油田相比具有特殊的地质条件,对开发提出了特殊的要求。主要表现在:①含油井段长,油层层数多,具备分层系开发的物质条件;②储层的层间非均质性要求层系划分的尽可能细;③储层的低渗透性要求采用比较小的井距;④井深、异常高温高压,使现有的分层工艺技术难以适应油田发展的需要,要实现细分层系只能靠钻井;⑤油藏属稀油油藏,原油主要是在中低含水期采出,强注强采损失的可采储量比较少;⑥地层水表现为高矿化度,井的平均使用寿命在10年左右,要求油田高速开采。

## 3 逐层段上返注水开发先导试验的提出及选区

油田自1987年投入开发,1990~1992年开展了分井注水、细分层系调整、整体压裂改造等先导试验及综合治理,均见到了不同程度的效果,尤其是细分层系调整效果较好。但是,细分层系钻井多,水驱储量动用程度提高的幅度还不令人满意。为了减少钻井数、简化采油工艺、彻底解决层间矛盾,1993年提出开展逐层上返注水开发先导试验。

<sup>①</sup> 该成果1995年获中国石油天然气总公司“八五”形成工业能力优秀项目;获中国石油天然气总公司1996年度科技进步二等奖。

\* 吴应川,1988年毕业于西南石油学院,工程师,现在中原油田勘探开发研究院从事油气藏开发研究。通讯地址:河南省濮阳市。邮政编码:457001。

试验区除必须具有文东油田的代表性外,还必须具备相对独立性。概括起来应满足下列条件:(1)构造简单,面积小,相对独立;(2)具有储量基础,有一定产能,投资风险性小;(3)典型长井段、多砂层组合层开采,受上部高渗层影响,目前采油井全部高含水,渗透性相对较差的油层发挥不出能力;(4)具备高压注水、气举采油等骨干工程,便于立即开展试验。通过多方对比论证,选择文 13-128 块沙三中<sup>8-10</sup>砂层组作为试验区。

## 4 先导试验政策界限研究

### 4.1 层系组合界限

#### 4.1.1 主要影响因素

(1) 渗透率 统计文 13 东块沙三中<sup>7-10</sup>层系内不同渗透率范围的出油状况,发现层系内渗透率越低,采液强度大的出油厚度比例越小,不出油厚度比例越大。

(2) 油层打开程度 统计文 13 东块沙三中<sup>7-10</sup>层系内射开油层层数、厚度的动用状况,经回归处理:层系内射开油层层数与动用油层层数百分数及射开油层有效厚度与动用油层有效厚度百分数都具有很好的负相关线性关系。

(3) 渗透率级差 根据 4 层长岩心多层水驱油实验结果统计,在单层水驱开采时,这 4 个层均能获得较高的采收率,而且最终采收率受渗透率影响不大。但在多层组合开发时,渗透率级差越大,渗透性越差的层采收率越低,而渗透性越好的层采收率越高。又根据文 13 块历年吸水剖面资料统计表明,层系内渗透率级差越大,不吸水厚度比例越大,还表明层系内渗透率级差小于 5 倍,不吸水层厚度比例小于 34%。

#### 4.1.2 组合界限

为了使组合后的储量水驱控制程度达 80%,综合研究组合界限为:(1)组合后的含油井段小于 60m,每套层系之间要有 15m 以上的隔层;(2)组合后渗透率级差小于 5 倍;(3)层系组合后油层层数小于 10 层,油层有效厚度小于 12m。

### 4.2 合理的注采井距(井网密度)

数值模拟分别研究了渗透率为  $8 \times 10^{-3}$ ,  $15 \times 10^{-3}$ ,  $30 \times 10^{-3}$ ,  $50 \times 10^{-3}$ ,  $70 \times 10^{-3}$ ,  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的合理井距。经综合研究认为试验保持 15MPa 的生产压差、采油速度为 10%、稳产到含水 70% 时的合理井距为 150m。

### 4.3 合理的上返时机

考虑到油水井使用寿命、试验周期和强注强采的特点,在选择上返时机时应以经济效益为中心,确定经济极限产油量和含水,按吨油获纯利 10% 考虑上返时机。通过经济技术评价后,确定油井平均单井极限产油量为 2t/d,油藏综合含水 94% 时上返下一试验层。

## 5 试验总体方案设计及实施方案

根据技术界限、开采现状及地质特征,试验总体方案设计将一套层系开发的沙三中<sup>8-10</sup>砂层组合为沙三中<sup>9F+10</sup>、沙三中<sup>9±</sup>、沙三中<sup>8F</sup>和沙三中<sup>8±</sup>4 套开发层系,部署一套井网,共 10 口井,其中利用老井 2 口,新钻井 8 口,每套层系采油速度和采收率分别在 10% 和 26% 以上。

根据地质模型,数模研究了 7 个方案,从中优选 6 采 4 注强注强采方案作为第一试验层系实施方案。方案要求油井采取气举采油以强化提液,水井采取高压注水以满足强注的需要。方案设计采油速度 10.6%,采收率 34%,预计 2.5a 第一试验层系试验结束,也就是 1995 年底上返第二试验层系。

## 6 试验效果评价

在试验过程中,充分利用天然能量,适时选择注水时机,油层改造采用注、采、压相结合的增产措施,以及高压注水和气举采油等配套新技术,使该试验取得了显著的效果。

(1) 经实施验证,地质模型及方案设计指标符合程度高(表 1)。

表 1 第一试验层系设计指标与实际指标对比表

Table 1 Comparison between design indexes and practical indexes for the first experimental series of beds

类别	地质 储量 (10 <sup>4</sup> t)	井数(口)			新 钻 井 (口)	年 产 油 (10 <sup>4</sup> t)	采 油 速 度 (%)	采 收 率 (%)	开 采 时 间 (a)
		采 油 井	注 水 井	合 计					
设计指标	25.46	6	4	10	8	2.7	10.6	34	2~3
实际指标	25.46	6	4	10	8	2.7883	10.95	35.59	2.5

(2) 第一试验层系的实施累计增产原油  $6.5 \times 10^4$ t,相当于 4 个开发层系仅用一个层系就收回了钻井及地面建设的投资,投资回收期 2.5a;因井身结构简化,减少作业次数 10 井次,节约费用 200 万元;与单独井网细分层系相比,减少钻井数 6 口,减少钻井投资 3553 万元。

(3) 试验状态下依靠天然能量开采,采出程度达 12.89%。

(4) 第一试验层系采油速度达 10.95%,折算试验区平均采油速度高出同期文东油田 2.2%;计算储量水驱动用程度 76.2%,比文东油田提高 38.2%;第一试验层系上返前采出程度 35.59%,高出文东油田标定采收率 12.15%(表 2),而且试验全部结束后钻塞合采会进一步提高采收率。

表 2 试验效果对比表

Table 2 Comparison of the experimental results

区 块	含油 面积 (km <sup>2</sup> )	储 量 (10 <sup>4</sup> t)	井 数		井 网 密 度 (口/km <sup>2</sup> )	水 驱 储 量 控 制 程 度 (%)	水 驱 储 量 动 用 程 度 (%)	主要开发指标(1995 年 12 月)						
			油 井 (口)	水 井 (口)				日 产 液 (t/d)	日 产 油 (t/d)	含 水 程 度 (%)	采 出 程 度 (%)	采 油 速 度 (%)	厚 度 吸 水 率 (%)	标 定 采 收 率 (%)
文东油田	20.6	3750	163	109	13.2	54.77	38	3426	963	71.99	14.98	0.83	46.4	23.44
文 13-128 块	0.38	25.46	6	4	26.3	80.6	76.2	150	18	87.93	35.59	4.93	74.84	未标

(5) 从含水与采出程度关系曲线可以看出(图 1):注水利用率大为提高,开发效果明显改善。

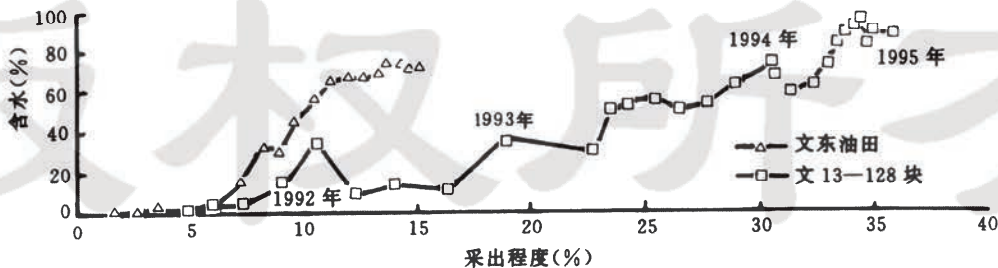


图 1 含水与采出 water 程度关系曲线

Fig.1 The relationship between water content and recovery percentage

(6) 第一试验层上返时数模预测含水 98%时水驱最终采收率 43.57%,损失采收率 7.98%。



## 7 试验成果的推广应用

1995 年编制了文东油田(储量  $3750 \times 10^4 \text{t}$ )整体调整方案,其中主力开发区块主要采用逐层上返注水开发,共部署调整井 57 口。目前已实施钻井工作量 39 口,整体调整方案设计 2~3a 实施完毕。

1996 年编制的文南油田文 33 块沙三上(储量  $403 \times 10^4 \text{t}$ )开发调整方案也采用了逐层上返开发注水的思路,部署调整井 36 口已开始实施。此外,在文 215 块(储量  $150 \times 10^4 \text{t}$ )初步开发方案编制中采用这种思路部署开发井 10 口。1997 年冀东高尚堡油田在开发调整中采用了这种思路。

## 8 结束语

首次正式提出非均质多油层油田逐层段上返注水开发的思路,丰富了细分层系的概念,除具有理论意义之外,为类似油田找到了一条经济、科学、合理的开发途径,并可以达到比较好的开发效果。开发思路上有创新,具有很强的可操作性和广泛的推广应用价值。

逐层上返注水开发的必要条件是油水地下粘度相近。方案设计的关键技术包括:①精细地质模型的建立;②合理开发井网和开发层系的确定;③上返时机的选择。

**致谢** 试验的思路由中国石油天然气总公司油田开发专家组(现咨询中心开发部)唐曾熊教授提出,本文也经唐曾熊教授审阅和修改;试验方案由中原石油勘探局总地质师李宗信教授具体指导并审定,肖敏、潘生秦、彭鹏商、焦方正、王熙华、邓瑞健、李江龙、杨灵信等给予了很大的帮助,在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 郎兆新. 油藏工程基础. 山东:石油大学出版社,1991.

(本文收到日期 1997-02-14)

(本文截稿日期 1997-02-21)

(编辑 范志强)

## A NEW THOUGHT OF UPWARD BED-BY-BED WATERFLOOD DEVELOPMENT IN WENDONG HETEROGENEOUS STRATIFIED OIL FIELD

Wu Yingchuan Huang Xinwen Lu Xinli Yang Li Kang Jian

(Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau)

### Abstract

In order to solve the problems existing in the development of Wendong heterogeneous stratified Oilfield, a new thought of upward bed-by-bed waterflood development with a set of well patterns for forced injection and high-speed production in stratified reservoir has first been presented by us in China, which enriched the concept of subdividing a series of strata. An experimental area was chosen for the pilot test. In consequence, the successful experimental result has been directly applied to the development adjustment in Wendong Oilfield, and a good profit is gained. The test puts an end to the problems of the conspicuous contradictories among layers, lowly-producing profile and low recoverable reserves of water-drive in heterogeneous stratified reservoir, the goals of subdividing a series of strata, infill drilling, high-rate development and EOR with few wells are achieved.

**Key words** heterogeneous stratified oil reservoir waterflood development Wendong Oilfield