

文章编号:1005-8907(2009)02-070-03

# 朝阳沟油田朝55区块井网加密研究

殷代印 张强

(大庆石油学院提高油气采收率教育部重点实验室,黑龙江 大庆 163318)

**摘要** 井网加密是油田开发调整过程中最重要的措施之一,所采用的井网是否合理直接影响到最终采收率的大小。从朝阳沟油田朝55区块加密前实际生产状况出发,分析了其开发效果差的根本原因,为得出适合本区块的加密方式,首先计算出满足低渗透油藏开发纲要的合理井数比,在此基础上应用数值模拟方法设计出不同的加密方案,结合现场实际加密效果,最后得出“3,2,1”加密为理想加密方式的结论。该结论对朝阳沟油田其他区块的加密工作有指导意义。

**关键词** 低渗透油藏;数值模拟;井网加密;朝阳沟油田

中图分类号:TE324

文献标识码:A

## Research on well patterns thickening of Block Chao 55 in Chaoyanggou Oilfield

Yin Daiyin Zhang Qiang

(MOE Key Laboratory of EOR, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China)

Well patterns thickening is one of the most important measures in oil field development adjustment process. The rationality of well patterns has a directly impact on ultimate recovery factor. Based on the actual production situation before infilling in Block Chao 55 of Chaoyanggou Oilfield, the reasons leading to poor development effects are analyzed in this paper. In order to get the reasonable well patterns thickening methods, the reasonable injection-producing well ratio is calculated to meet the development of low-permeability reservoir. The different well patterns thickening schemes are designed on the basis of numerical simulation. Combined with the practical effects of field application, the paper gains the conclusion that the "3, 2, 1" infilling method is the favorable infilling one for well patterns thickening. It has a guiding significance to well pattern thickening for other blocks of Chaoyanggou Oilfield.

**Key words:** low-permeability reservoir, numerical simulation, well patterns thickening, Chaoyanggou Oilfield.

大庆朝阳沟油田位于松辽盆地中央坳陷区朝阳沟阶地及长春岭背斜带上,由朝阳沟背斜、翻身屯背斜、薄荷台和大榆树2个鼻状构造组成,为受断层、构造、岩性多种因素控制的复合型特低渗透油藏。

朝55区块属朝阳沟油田二类区块,含油面积4.7 km<sup>2</sup>,地质储量282.9×10<sup>4</sup> t,平均空气渗透率12.7×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>,有效孔隙度16.0%,含油饱和度51%,原始地层压力8.94 MPa,饱和压力7.04 MPa,属中孔低渗透油层<sup>[1]</sup>。该区块于1992年5月投产,12月转入注水开发,采用300 m×300 m反九点法面积井网,井排方向为相对裂缝方向错开22.5°。

朝55区块自投入开发以来,采取强化注水、分层注水的政策进行开发,1995年开始采取高注水强度、高注采比的开发政策,年注采比由2.29提高到3.38,同时采取了油井压裂、换泵等增产措施,但采油速度仅有0.66%。1999年9月开始进行“3,2,1”变井距加密调整,截至目前井区共有井68口,其中油井41口,水井27口。

## 1 井网加密调整的必要性

### 1.1 原井网对砂体控制程度差

该区块砂体发育规模相对较小,主力砂体呈局部分片状或窄条带状,砂体宽度小于300 m的占60%,300~600 m的占30%,开发初期采用300 m×300 m井网,导致主力砂体钻遇率只有40%~45%,其余砂体钻遇率小于30%,说明在300 m井距条件下井网对砂体的控制程度极低。

### 1.2 未建立有效驱动体系,压力传导能力低

由于储层渗透率低,启动压力梯度大<sup>[2]</sup>,如果井距过大,压力在向油井传递过程中损耗较大,油水井间建

收稿日期:2008-05-08;改回日期:2008-12-12。

作者简介:殷代印,男,1966年生,教授,1988年大庆石油学院油藏工程专业本科毕业,2001年大庆石油学院油气田开发工程专业博士毕业,2004年中科院力学所博士后出站,一直从事油藏数值模拟和油田开发动态分析方面研究工作。电话:(0459)6503465, E-mail:yindaiyin@163.com。

立不起合理的压力系统。1999 年加密前,水井平均地层压力 22 MPa,而油井平均地层压力仅有 6.9 MPa,二者的差值将近 15 MPa,油水井间憋压状况比较严重,油井受效差。

### 1.3 油水井生产能力低

由于油层物性、原油物性差,平均空气渗透率  $12.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,有效孔隙度 16.0%,平均地层原油密度  $0.818 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,地层原油黏度  $11.8 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,采油井基本依靠弹性能量开采,随着油田开发时间的延长,表现为油井供液能力、水井吸水能力逐年降低。截至加密前,采油指数一般为  $0.3 \sim 0.41 \text{ t} \cdot (\text{MPa} \cdot \text{d})^{-1}$ ,吸水指数为  $10 \sim 20 \text{ m}^3 \cdot (\text{MPa} \cdot \text{d})^{-1}$ ,部分注水井吸水量只有  $3 \sim 5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。

### 1.4 原井网采油速度及预测采收率低

由于以上几种因素的影响,采油速度较低,一般只有 0.7%,预计最终采收率只能达到 18% 左右。

针对上述问题,近几年在朝阳沟油田开展了以提高采油速度和采收率为目的的加密调整试验<sup>[3]</sup>。

## 2 合理油水井数比的确定

在油田开发中,油水井数比是个很重要的技术指标,合理的油水井数比可以达到最大的水驱储量,同时还能达到最大的产液量,只追求水驱储量,而降低油水井数比,这样会损失一部分储量和产能,而为了保持产量,油水井数比太高,水驱动用程度低,产量递减大,对油田开发也不利,因此必须研究合理的油水井数比<sup>[4]</sup>。合理油水井数比的计算公式为

$$R = \sqrt{I_w / J_L} \quad (1)$$

式中: $R$  为合理油水井数比; $I_w$  为吸水指数,  $\text{m}^3 \cdot (\text{MPa} \cdot \text{d})^{-1}$ ; $J_L$  为采液指数,  $\text{m}^3 \cdot (\text{MPa} \cdot \text{d})^{-1}$ 。

应用上述公式,利用相渗曲线计算了理论的水油水井数比,通过理论的水油水井数比研究可以看出,合理油水井数比不是个定值,是与含水有一定关系的,随着含水的增大,油水井数比要逐渐降低。

当井网进行加密后,用水驱控制程度与注采井距的关系式,来确定加密区块油水井数比更为合理,对加密后注采系统调整具有指导意义,根据已有研究成果,水驱控制程度与注采井距关系式为

$$\lambda = 1 - \varepsilon^{0.5} \exp \left[ \frac{a C_s}{\psi(\varepsilon) d^n} \right] \quad (2)$$

式中: $\lambda$  为油水井数比; $a$  为系数,对某一具体区块为常数; $C_s$  为含油砂体面积中值,  $\text{km}^2$ ; $d$  为注采井距,  $\text{km}$ ; $n$  为系数,取 1; $\psi(\varepsilon)$  为与注采井数比有关的校正系数,五点及反九点  $\psi(\varepsilon) = 1$ ,四点法  $\psi(\varepsilon) = \sqrt{3} / 2$ 。

实际生产过程中,采注井数比未必是整数,为适应这种情况,由插值法计算函数式

$$\psi(\varepsilon) = 0.135\varepsilon^2 - 0.54\varepsilon + 1.405 \quad (3)$$

对于低渗透油田,要达到开发纲要的要求,二类加密区块的合理油水井数比应控制在 1.5~2.0,以获得较好的开发效果和经济效益。

## 3 井网加密方法研究

根据基础井网的布井方式,按照合理油水井数比要求,设计了 2 种加密方式。

1) 在原注水井的边井与位于裂缝方向上的角井的连线上均匀布 2 口加密油井,在原注水井边井与同侧角井的连线中间布 1 口加密水井,形成“3,2,1”加密,注水井排井距 335.4 m,排间垂直距离为 134 m(见图 1a)。

2) 采用对角线加密,在原井网注水井与相邻的 3 口采油井所构建的正方形中心布 1 口加密采油井,把原井网注水井的角井转为水井,形成 212 m 井距反九点面积注水(见图 1b)。

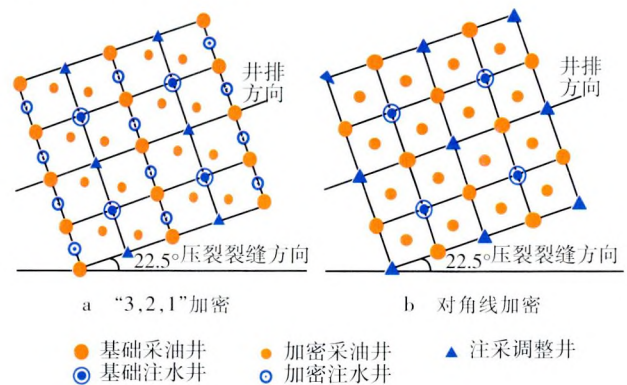


图 1 2 种加密方式对比

应用数值模拟方法<sup>[5]</sup>对朝 55 区块设计 3 个方案进行开发指标预测。

方案 1:保持 300 m 井距反九点面积注水不变,区块共有 21 口油井,7 口水井,油水井数比 3:1。

方案 2:进行对角线加密,加密油井 21 口,转注井 9 口,共有 33 口油井,16 口水井,油水井数比 2:1。

方案 3:进行“3,2,1”加密,加密采油井 26 口,加密水井 14 口,转注 6 口,区块共有 41 口油井,27 口水井,油水井数比 1.5:1。

根据数模运算结果,从开发初期到高含水期,“3,2,1”加密井网的采出程度始终高于不加密和对角线加密方式,方案 3 的水驱采收率达到 34.33%,比方案 1 高出 6.68 个百分点,比方案 2 高出 2.67 个百分点,结

合经济评价,决定采用方案3。加密后油井排井距为223.6 m,注水井排井距为335.4 m,油水井排间垂直距离为134 m。

## 4 实际加密效果

朝55区块于1999年开始进行加密调整,2002年底加密工作结束,截至目前取得了良好的开发效果。

### 4.1 新老油井具有较高产能

#### 4.1.1 加密采油井开发效果

加密后,通过适时地进行注采系统调整、新老注水井结构调整,使加密采油井投产后6个月开始见效,单井产油在 $2.7 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右稳定生产了17个月,目前缓慢递减至 $1.7 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ,比方案预测高 $0.3 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ,年递减幅度为9.7%,含水率上升至29.5%,年含水率上升3.2个百分点。

#### 4.1.2 老油井开发效果

通过加密调整,缩小了注采井距,老井在加密后12个月见效,产油量在 $1.6 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 水平上生产了21个月月开始递减,目前产油量 $1.3 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ,比方案预测高 $0.2 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ,含水率由2000年9月的18.5%缓慢升至2007年6月的28.4%。

### 4.2 地层压力上升,采油速度提高,自然递减减缓

加密前水井层压22 MPa,而油井平均地层压力只有6.9 MPa。加密后截至目前,测得距老注水井300 m处老油井地层压力为7.13 MPa,距老水井224 m处新井地层压力达到7.85 MPa,141 m处为7.76 MPa,油井平均地层压力达到7.82 MPa,比原井网相比上升幅度为13%。

加密后采油速度有较大幅度提高,由0.80%上升到2.01%,目前为1.27%。加密前老井递减率为18.2%,加密后下降到11.0%,2007年递减率为8.5%。

### 4.3 加密后水驱采收率提高

#### 4.3.1 井网控制储量增加

加密前井网控制储量为 $274.7 \times 10^4 \text{ t}$ ,加密后达到 $282.9 \times 10^4 \text{ t}$ ,增加幅度为3%。通过对加密前后钻遇的砂体进行对比分析,发现3方面因素导致井网控制储量的提高:一是纵向上钻遇砂体比预测厚度大,引起储量增加;二是平面上砂体有内缩也有外扩,砂体内缩则储量变小,外扩则储量变大,外扩砂体数目大于内缩砂体数;三是钻遇新砂体。

#### 4.3.2 水驱控制程度增加

水驱控制程度由加密前的68.8%提高到加密后的80.1%,水驱控制储量由 $194.7 \times 10^4 \text{ t}$ 增加到 $226.6 \times 10^4 \text{ t}$ 。

增加水驱控制储量的砂体可以分为3种类型:一是只注不采型,即原井网下砂体只有水井而没有连通油井,储量没有得到动用,加密后砂体的注采关系变完善,砂体得到动用;二是只采不注型,即原井网砂体只有油井而没有水井,加密后通过加密水井转注,这部分储量得到动用;三是断层遮挡型,即原井网条件下,由于断层的遮挡,存在孤立井点,加密后通过水井转注,增加了水驱控制储量。

#### 4.3.3 水驱有效动用程度增加

从吸水剖面及产液剖面统计来看,加密后的水驱有效动用程度增加。加密后,吸水层由57.7%增加到65.4%,吸水厚度由59.5%增加到73.8%,吸水厚度增加值为14.3%,由有效驱动系数计算公式进行计算,增加值为15%,二者基本相符,结果表明井网加密后驱动压力梯度增大,储量有效动用程度增加。

## 5 结论

1)朝55区块在 $300 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ 井网条件下水驱控制程度为68.8%,采油速度仅有0.66%,预计最终采收率只有25%左右,井网适应性差。

2)加密后,二类区块的油水井数比应控制在1.5~2.0,可获得好的开发效果和经济效益。

3)根据数模运算的结果,“3,2,1”加密方式的水驱采收率可达到34.33%,明显高于对角线加密和不加密情况,与现场实际情况一致,本区块加密成功的经验对朝阳沟油田其他区块的加密工作有指导意义。

### 参 考 文 献

- [1] 阎百泉,张树林,施尚明,等.大庆油田萨北二类油层非均质特征[J].大庆石油学院学报,2005,29(1):15-17.
- [2] 何海峰,孙天建,龙文涛.低渗透砂岩油层渗流启动压力梯度研究[J].西部探矿工程,2007,19(1):47-48.
- [3] 王俊芳,惠卓雄,张春林,等.油藏井网综合调整技术在文51块中的应用[J].断块油气田,2004,11(5):57-58.
- [4] 欧阳明华,谢从姣,刘玉娟.低渗透油藏井网适应性研究:以张东渠油田长2油藏为例[J].海洋工程,2004,24(2):64-68.
- [5] 宋考平,宋洪才,吴文祥,等.油藏数值模拟理论基础[M].北京:石油工业出版社,1996:108-114.

(编辑 滕春鸣)