

# 特低渗透油田提压注水效果探讨与实践

张洪亮

(大庆油田有限责任公司第九采油厂,黑龙江大庆 163853)

[摘要] 大庆西部外围地区特低渗透扶余油层具有埋藏深、厚度薄、砂体零散的特点,针对首次注水开发的特低渗透油田注水井吸水能力差、难以有效开发动用的实际,在搞清该区块微观特征的基础上,为确保特低渗透储层达到建立有效驱替,“注够水、注好水”的目的,经过反复理论研究和论证,提出了单井增压注水试验,现场应用后注水井能够完成配注,周围油井明显见到增油效果,实现了特低渗透储层有效驱替。利用无源微地震和同位素监测资料分析,改善了吸水状况,缓解了层间矛盾,储层动用程度得到提高。随注水压力升高降低,注水波及区范围随之升高、降低,增压注水能够有效地提高波及系数,并提高采收率,改善特低渗透油藏的开发效果,为特低渗透油田的开发提供了借鉴意义。

[关键词] 增压注水;无源微地震;特低渗透油田;波及系数;有效驱替

[中图分类号] TE3;P315 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)04-0062-03

## 1 前言

该区块 2008 年投入开发,是大庆西部外围第一次大规模注水开发的特低渗、次生孔隙弱发育区块,动用含油面积  $5.63 \text{ km}^2$ ,地质储量  $125.02 \times 10^4 \text{ t}$ ,平均孔隙度 13.9%,渗透率  $1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该区块共有油水井 71 口,油井 55 口,产液量较低,平均单井日产油 0.7 t,水井 16 口,均不吸水关井。由于该区块储层物性差,注水井吸水能力差,地层能量低,需要对注水措施进行研究,达到建立有效驱替的目的,保证有效开发动用,改善特低渗油田开发效果。

## 2 增压注水原理分析

### 2.1 增大注采压差建立有效驱替

启动压力梯度和毛细管压力的存在是特低渗透油田难以开发的主要原因之一。在特低渗透油藏的开发中,应采取提高驱替压力梯度或减小启动压力梯度以及降低毛细管压力的措施<sup>[1]</sup>。在现有的井网条件下,注采井间建立有效驱替有两种方式,一种方法是通过加密或压裂方式缩短井距;另一种方法

是通过增压方式增大注采压差。通过论证加密在经济效益上不可行,压裂效果不明显,于是开展增压试验,增大注采压差,提高驱替压力梯度。

低渗透油藏非达西渗流方程:

$$Q = \frac{2 \pi c h k \lambda}{\mu \ln \left[ \frac{r}{r_w} \right]} [P_H - P_f] - \lambda (r - r_w) \quad (1)$$

式(1)中, $Q$ 为油井产液量, $\text{m}^3/\text{d}$ ; $h$ 为有效厚度, $\text{m}$ ; $\mu$ 为原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ; $P_H$ 和 $P_f$ 分别为驱动压力、流动压力, $\text{MPa}$ ; $\lambda$ 为启动压力梯度, $\text{MPa}/\text{m}$ ; $r$ 为驱动半径, $\text{m}$ ; $r_w$ 为井筒半径, $\text{m}$ ; $c$ 为单位换算系数; $k$ 为渗透率, $\mu\text{m}^2$ 。

有效驱动距离就是在油层连通的条件下,在一定驱动力下能驱动的距离,对于注采井间,当 $Q=0$ 时其驱动距离为极限距离(设 $r \approx r - r_w$ )<sup>[2]</sup>,即:

$$r = \frac{P_H - P_f}{\lambda} \quad (2)$$

式(2)表明,低渗透储层极限井距距离与驱动压力成正比,与启动压力梯度成反比。

根据拟合扶杨油层渗透率与启动压力梯度计算公式 $\lambda = 0.139 9K^{-0.3673}$ ,计算 $K = 1.2 \text{ mD}$ 时,启动

[收稿日期] 2012-02-10

[作者简介] 张洪亮(1983—),男,黑龙江北安市人,助理工程师,研究方向为油藏开发;E-mail:zh16789@126.com

压力梯度为 0.130 8 MPa/m, 当注采井距在 250 m 时, 注采压差达到 33 MPa 时(井口大于 22 MPa)才能建立有效驱替。

## 2.2 增压注水提高波及系数

为了在水驱后进一步提高原油采出程度, 人们相继提出了提高波及系数和提高洗油效率等提高采收率方法。目前在特低渗透油田物性较差的层不能有效动用, 甚至有些区域水体波及不到, 导致油田开采时间短, 采收率较低, 所以改善特低渗透油藏的注水开发效果的主要途径仍然是提高注入水的波及系数, 从根本上说, 利用增压使近井地带裂缝开启改善吸水剖面, 扩大纵向波及系数, 使注入水尽量波及到较差的油层; 在平面上, 增压后注水影响的区域能够扩展到低渗透区, 从而从整体上改善注水开发效果, 最终达到增大注入水波及体积、提高水驱采收率的目的。因此, 提高储层的动用程度, 扩大水体的波及范围即提高采收率。

### 2.2.1 波及系数的计算

目前为止, 对于均匀井网的面积波及系数的研究, 多是根据在各种简化模型下, 用理论方法和实验方法所获得的研究成果。根据 B·丹尼洛夫和 P·M·卡茨研究结果, 得到面积注水系统运动前缘微分方程的解, 可以确定见水时面积波及系数<sup>[3]</sup>。

面积波及系数计算公式为

$$E_A = \frac{\frac{2\pi d}{a} - 4\exp(-\frac{2\pi d}{a}) - 2.776}{\frac{2\pi d}{a} [1 + 8\exp(\frac{2\pi d}{a})]} \sqrt{\frac{1+M}{2M}} \quad (3)$$

$$M = \frac{\mu_o (K_{ro} + K_{rw})}{\mu_w K_{ro} (S_{wc})} \quad (4)$$

式(4)中,  $E_A$  为面积波及系数;  $d$  为井排间距离, m;  $a$  为沿井排井间距离, m;  $M$  为水(驱替剂)与油的流量比;  $\mu_o$  为油的粘度, mPa·s;  $\mu_w$  为水的粘度, mPa·s;  $K_{ro}$  为油的相对渗透率,  $\mu m^2$ ;  $K_{rw}$  为水的相对渗透率,  $\mu m^2$ ;  $S_{wc}$  为束缚水饱和度。

当  $M > 1$ ,  $d/a > 1$  时, 对于均云油层, 反九点注水系统而言, 见水时的面积波及系数可以写为

$$E_A = 0.525 \sqrt{\frac{1+M}{2M}} \quad (5)$$

式(5)说明井网的波及系数主要取决于水油流量比, 水油流量比越小, 注水波及面积越大。

### 2.2.2 多孔介质中原油的粘度计算

在多孔介质中原油的粘度与多孔的介质性质和

原油性质有关<sup>[4]</sup>。可用式(6)表示:

$$\mu = \left\{ \left[ \frac{5.714A}{K \left( \frac{\Delta p}{L} \right)^n} - \frac{8.613A^2}{K \left( \frac{\Delta p}{L} \right)^{2n}} \right] \left( \frac{\mu_1}{\mu_2} - 1 \right) + 1 \right\} \mu_2 \quad (6)$$

式(6)中,  $\mu$  为多孔介质中原油的粘度, mPa·s;  $A$  为边界原油体积与原油总体积之比;  $K$  为渗透率,  $\mu m^2$ ;  $\mu_1$  为边界原油的平均粘度, mPa·s;  $\mu_2$  为体相原油的粘度, mPa·s;  $L$  为多孔介质的长度, m;  $\Delta p$  为介质两端压差。

由式(6)可知, 孔道中原油的粘度并不是一个常数, 它是与体相原油性质、多孔介质的性质和驱动压力梯度有关的一个函数<sup>[4]</sup>。

通过整理渗流实验的资料, 可以得到流体的粘度随压力梯度的增加而减小(见图1)。

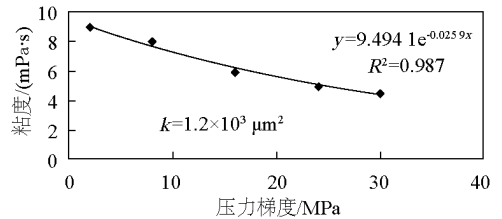


图1 粘度变化图

Fig. 1 Change of viscosity

通过以上计算和分析, 当注采压差达到 33 MPa 时, 与原注采压差 31 MPa 比较, 流体的粘度由 4.3 mPa·s 下降到 4.0 mPa·s, 下降了 0.3 mPa·s。通过式(5)分析, 见水时面积波及系数有所提高。

## 3 现场应用和监测结果

从现场应用的效果看, 增压注水后: 一是注水井吸水能力得到提高, 油水井间能够建立有效驱替。注水压力由 21.3 MPa 增加到 22.9 MPa, 日注水量由 0 m<sup>3</sup> 增加到 30 m<sup>3</sup>, 受效井日产油 1.0 t 上升到 1.5 t, 地层压力由 8.5 MPa 上升到 9.4 MPa。

二是改善了吸水状况, 缓解了层间矛盾, 储层动用程度得到提高, 吸水厚度百分数由 52.1 % 增加到 78.8 %, 吸水厚度增加了 3.9 m。

三是根据无源微地震监测的结果分析, 注水波及范围随压力升高逐渐增加。注水前缘水平截面图(见图2)可以直观地看出, 注水压力由 22.1 MPa 增加到 22.9 MPa, 注水波及区范围随之增加。

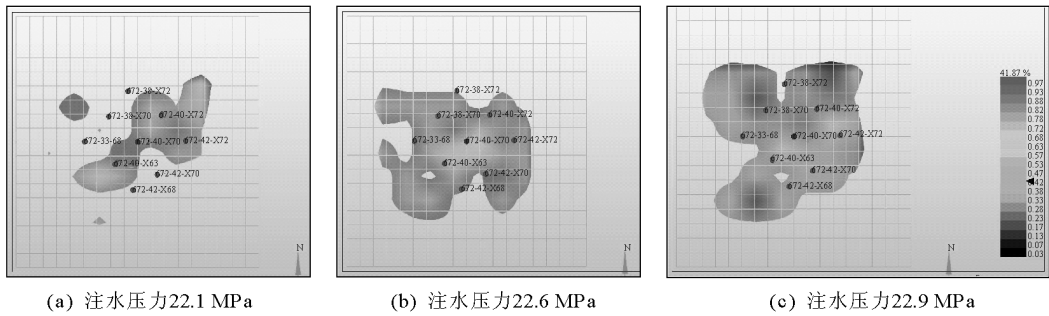


图2 注水前缘水平截面图

Fig.2 Horizontal view of water – flooding’s front

和指导作用。

#### 4 结语

1)通过增压注水能使特低渗透油田建立有效驱替,注水井达到了“注够水、注好水”的目的,油井达到了受效增油的目的。

2)增压注水现场应用和监测结果显示与理论计算的结果相符,进一步确定了增压注水可以提高波及系数,进而提高采收率。

3)综合分析增压注水在该油田应用取得较好的效果,可以为其他低渗透油田开发提供借鉴意义

#### 参考文献

- [1] 王文环. 特低渗透油藏驱替及开采特征的影响因素[J]. 油气地质与采收率, 2006(6): 73 – 75.
- [2] 李莉,周锡生 李艳华. 低渗透油藏有效驱动体系和井网加密作用分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2009.
- [3] 张荣军. 低渗透油藏开发早期高含水井治理技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2009.
- [4] 杨证明. 低渗透油层渗流机理及其应用[M]. 北京:中国科学院研究生院出版社, 2004.

## Discussions and practice of pressurized water injection for ultra low permeability oilfield

Zhang Hongliang

(No.9 Oil Production Plant, Daqing Oilfield Ltd. , Daqing, Heilongjiang 163853, China)

[Abstract] Ultra low permeability formations in outer area of Daqing western is characterized by deeply buried, thin, and sand scattered. Note that first waterflood in such formation where water contained capability is poor and it’s difficult to recovery oil efficiently, this paper describes pilot studies of pressurized water injection on single well to ensure effective waterflood drive and achieve goal of “sufficient water injected and implementation well” on the basis of thorough theoretical study and many demonstration. After injection completion, effective waterflood drive and significant production improvement was achieved. Use of passive seismic monitoring and isotope logging has increased water contained capabilities, eased the complexity contradiction between layers, and improved reservoir effectiveness. Water injection front drive and spread area increases or decreases, following changes of pressure of water injection. Pressurized water injection can increase coefficient of water injection front drive and enhance oil recovery, improve development efficiency of ultra low permeability reservoir, it provides a reference for development of ultra low permeability oilfield.

[Key words] pressurized waterflood; passive microseismic; ultra low permeable oilfield; affected coefficient; effective injection drive