

流体在特低渗透油藏中的渗流参数分析

周晓奇¹, 张磊², 王成军³

1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东青岛 266555

2. 胜利油田采油院油气层保护研究所, 山东东营 257000

3. 中油测井吐哈事业部生产技术科, 新疆鄯善 838202

摘要 运用实验的方法,对由大量实验结果总结出来的规律性公式——Darcy 公式进行改进。Darcy 公式本身存在一定的局限性,对于常规油藏来说,用其描述渗流规律具有较好的效果。但是对于低渗、特低渗透油藏来说,其渗流规律与常规油藏有着较大的差异。仅考虑启动压力的影响,对 Darcy 公式进行改进,改进后的公式仍然不能正确描述流体在低渗、特低渗油藏下的渗流规律。本文通过大量的实验重新探讨了在特低渗透油藏中,渗透率、压力以及流量三者之间的关系,得到了其关系表达式。对特低渗透油藏渗流机理的理论研究具有较大的指导意义。

关键词 特低渗; 渗流规律; Darcy; 启动压力; 实验研究

中图分类号 TE312

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)05-0082-04

Parameter Analysis of Fluid Flows in Low-Permeability Reservoirs

ZHOU Xiaoqi¹, ZHANG Lei², WANG Chengjun³

1. College of Geo-resources and Information of China University of Petroleum, Qingdao 266555, Shandong Province, China

2. Research Institution of Hydrocarbon Reservoir Protection of Shengli Oil Field Research Institute of Extraction Technology, Dongying 257000, Shandong Province, China

3. Production Technology Division of Turpan-Hami Department of CNPC Logging, Shanshan 838202, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract Pores are underdeveloped in low-permeability reservoirs, so permeability and productivity of low-permeability reservoirs can be quite low, and the pressure transits at a very low speed. When a pressure gradient is established in low-permeability reservoirs, the response of production takes a long time period. The Darcy law is improved through experimental studies in this paper. As an experimental rule, the Darcy law has limitations in its applications. For conventional reservoirs, this law is appropriate. However, in low-permeability reservoirs the fluid flows are quite different from those in the conventional ones. An improvement of the Darcy law, based only on the threshold pressure can not properly describe the fluid flow in low-permeability reservoirs. A new relation between the permeability, pressure and rate of flow has to be considered and it is established through experimental studies in the paper. The relation is in an explicit expression, which can be used to study the fluid flow in low-permeability conditions.

Keywords low-permeability; filtering flow law; Darcy; threshold pressure; experimental study

0 引言

针对低渗透、特低渗透油藏渗流机理的研究结果显示,

由于启动压力梯度的存在,使得流体在低渗透、特低渗透油藏中的流动不再遵守达西定律,而是非达西渗流^[1-3]。目前大

收稿日期: 2009-11-24

作者简介: 周晓奇,硕士研究生,研究方向为地质开发,电子信箱:zxqupc@163.com;张磊(通信作者),助理工程师,研究方向为油气层保护,电子信箱:tianle5509@163.com

由图 2(a)、2(b)可得到参数 η 与 a 、 b 的拟合关系式为

$$a=-2297.6\eta^2+115.92\eta+0.0396 \quad (3)$$

$$b=427.14\eta^2-21.653\eta-1.0616 \quad (4)$$

将式(3)、式(4)代入式(1),可得

$$p=(-2297.6\eta^2+115.92\eta+0.0396)K^{427.14\eta^2-21.653\eta-1.0616} \quad (5)$$

式(5)即为特低渗油藏下的压力和渗透率之间的关系式。从式(5)可以看到,对于特低渗油藏,在固定流量情况下,压力和渗透率的幂函数关系与由 Darcy 公式求出来的幂函数关系有着较大的区别。

2.2 定驱替压力下的参数关系

特低渗油藏条件下,固定驱替压力,渗流速度与岩心渗透率的关系与中高渗油藏条件下得到的关系也不同。本文通过实验测定固定驱替压力下,特低渗透岩心渗流速度与渗透率关系。

根据驱替实验,绘制 6 块岩心的渗流曲线如图 3 所示。

由图 3 可得,驱替压力和流量基本符合线性关系。将曲

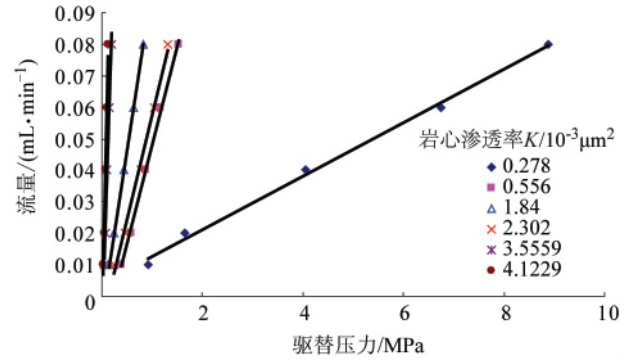


图 3 不同渗透率下的流量压力曲线

Fig. 3 Flow pressure diagram

线反向延长,在压力轴有一个正截距,说明要使得流体流动,均需要一个大于 0 的驱替压力,即启动压力。

根据渗流曲线拟合公式,可以求得不同压力 1,2,3,4,5,6MPa 下的流量,如表 2 所示。

表 2 不同驱替压力下的流量(单位:mL/min)

Table 2 Rate of flow in different displacement pressures (unit: mL/min)

$K/(10^{-3}\mu\text{m}^2)$	p/MPa					
	1	2	3	4	5	6
0.278	0.0127	0.0212	0.0297	0.0382	0.0467	0.052
0.556	0.0494	0.1136	0.1778	0.242	0.3062	0.3704
1.84	0.0967	0.1975	0.2983	0.3991	0.4999	0.6007
2.302	0.0576	0.1244	0.1912	0.258	0.3248	0.3916
3.5559	0.4695	0.9538	1.4381	1.9224	2.4067	2.891
4.1229	0.8192	1.6562	2.4932	3.3302	4.1672	5.0042

根据表 2 绘制不同驱替压力下的 K - q 曲线,如图 4 所示。相同的驱替压力下,渗透率增大,流量增加;相同的渗透率下,驱替压力增大,流量增加;渗透率小于 $2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 时,驱替压力对流量影响不大;渗透率大于 $2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 时,驱替压力对流量影响较大。对曲线进行拟合可知,对于特低渗油藏,在不同的驱替压力下,流量和渗透率之间的关系不再满足线性关系,而是有比较好的指数关系

$$q=fce^{gK} \quad (6)$$

其中,参数 f 、 g 由以下方法确定。

定义参数: $\tau=\frac{p}{\mu}$, τ 为单位黏度下的驱替压力, $10^{-9}/\text{s}$ 。由

图 4 拟合曲线表达式可得参数 f 、 g 、 τ 的值,如表 3 所示。

根据表 3 中数据,可得参数 τ 与拟合参数 f 、 g 关系图,如图 5 所示。

由图 5(a)、5(b)可得到参数 τ 与参数 f 、 g 的拟合关系式为

$$f=0.278\tau^{0.9673} \quad (7)$$

$$g=0.9516\tau^{0.0201} \quad (8)$$

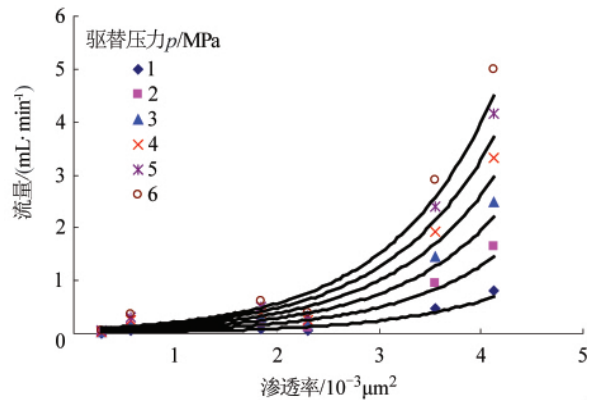


图 4 不同驱替压力下的 K - q 曲线

Fig. 4 K - q curve in different displacement pressures

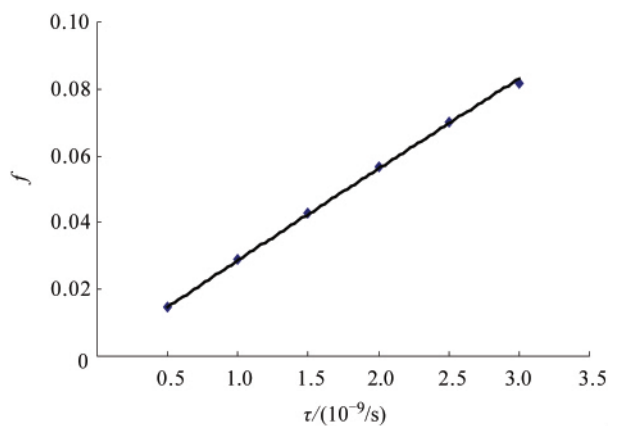
将式(7)、式(8)代入式(6)得

$$q=0.278\tau^{0.9673}e^{0.9516\tau^{0.0201}K} \quad (9)$$

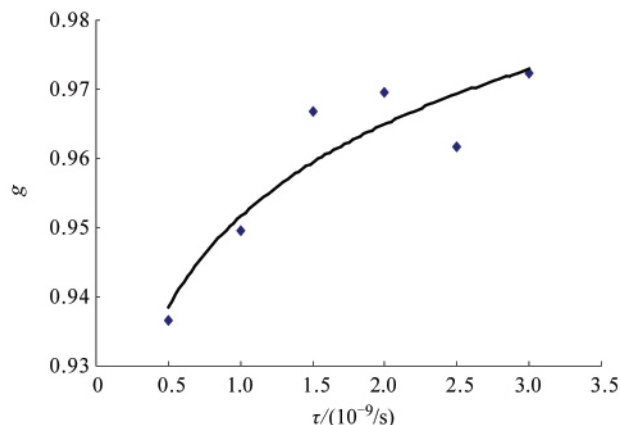
式(9)即为特低渗透油藏一定驱替压力条件下,流量与渗透率的关系式。流量和渗透率之间具有一种较好的指数关系。

表 3 参数 f 、 g 在不同 τ 下的值
Table 3 Parameters f and g in different τ

$\tau/(10^{-9}/s)$	拟合曲线表达式	f	g
0.5	$q=0.0146e^{0.9366K}$	0.0146	0.9366
1	$q=0.0288e^{0.9496K}$	0.0288	0.9496
1.5	$q=0.0427e^{0.9669K}$	0.0427	0.9669
2	$q=0.0565e^{0.9696K}$	0.0565	0.9696
2.5	$q=0.0703e^{0.9617K}$	0.0703	0.9617
3	$q=0.0817e^{0.9724K}$	0.0817	0.9724



(a) τ - f 曲线
(a) τ - f curve



(b) τ - g 曲线
(b) τ - g curve

图 5 参数 f 、 g 变化曲线
Fig. 5 τ - f , τ - g curve

3 结论

1) 现有的 Darcy 公式已经不能正确描述低渗、特低渗油藏的渗流形态。对于低渗透、特低渗透油藏的渗流形态的描述需要探讨新的方法；

2) 流体在低渗透、特低渗透油藏内流动,流量-压力-渗透率三者之间的关系不能仅仅考虑启动压力的影响,简单的

增加一个启动压力相不能正确描述这三者之间的关系变化情况；

3) 对低渗透、特低渗透油藏,在一定驱替流速下,渗透率与压力呈幂函数关系;一定驱替压力下,渗透率与流量呈指数关系。

参考文献 (References)

- [1] 黄延章. 低渗透油层渗流机理[M]. 北京: 油工业出版社, 1998.
Huang Yanzhang. Percolation mechanism in low permeable oil layer[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998.
- [2] 姚约东, 葛家理, 魏俊之. 低渗透油层渗流规律的研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 73-75.
Yao Yuedong, Ge Jiali, Wei Junzhi. *Petroleum Exploration and Development*, 2001, 28(4): 73-75.
- [3] 肖鲁川, 甄力, 郑岩. 特低渗透储层非达西渗流特征研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(5): 27-30.
Xiao Luchuan, Zhen Li, Zheng Yan. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2000, 19(5): 27-30.
- [4] 吴凡, 孙黎娟, 乔国安, 等. 岩心启动压力梯度测定实验条件优选[J]. 河南石油, 2006, 20(3): 79-80.
Wu Fan, Sun Lijuan, Qiao Guoan, et al. *Henan Petroleum*, 2006, 20(3): 79-80.
- [5] 吕成远, 王建, 孙志刚. 低渗透砂岩油藏渗流启动压力梯度实验研究[J]. 油气勘探与开发, 2002, 29(2): 86-88.
Lv Chengyuan, Wang Jian, Sun Zhigang. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(2): 86-88.
- [6] 李爱芬, 刘敏, 张少辉. 特低渗油藏渗流特征实验研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2008, 23(2): 35-39.
Li Aifen, Liu Min, Zhang Shaohui. *Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition*, 2008, 23(2): 35-39.
- [7] 韩洪宝, 程林松, 张明禄, 等. 特低渗油藏考虑启动压力梯度的物理模拟及数值模拟方法[J]. 石油大学学报, 2004, 28(6): 49-53.
Han Hongbao, Cheng Linsong, Zhang Minglu, et al. *Journal of the University of Petroleum*, 2004, 28(6): 49-53.
- [8] 孙黎娟, 吴凡, 赵卫华, 等. 油藏启动压力规律的研究及应用 [J]. 断块油气田, 1998, 5(5): 30-33.
Sun Lijuan, Wu Fan, Zhao Weihua, et al. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 1998, 5(5): 30-33.

(责任编辑 刘志远)

欢迎向“学术聚焦”栏目推荐会议文集

《科技导报》“学术聚焦”栏目旨在围绕当前某一与科技相关的热点问题展开讨论,客观、简洁、集中地发表原创性科技成果或专家的创新言论。每期将从科学会议、学术沙龙的众多科研报告中精选 10 篇左右,从中提炼成一篇 4 500 字左右的综述性文章,以反映研究者的重要研究成果和主要学术观点。欢迎科技会议、学术沙龙、学术论坛组织者及时提供会议论文集、主要报告材料。栏目责任编辑: 陈广仁博士; 投稿邮箱: chenguangren@cast.org.cn。