

低渗透岩石渗流规律的实验研究方法

陈志明 蔡雨桐 刘冰 汪伟英

长江大学石油工程学院油气钻采工程湖北省重点实验室,湖北 荆州 434023

摘要:

现有渗流规律研究实验主要都是针对中高渗油藏的,而对低渗油藏岩心样品却缺乏统一和规范。为改变这一现状,更科学地研究低渗透岩石渗流规律,有必要了解该领域目前的实验研究现状。在参考大量相关文献的基础上,对近年来国内外学者开展的实验研究进行了总结,内容包括低渗透岩石渗流规律的特征,低渗透岩石渗流规律的实验研究现状和实验研究存在的问题。对这些问题提出了初步解决思路,研究成果可为从事相关工作人员提供参考。

关键词:

低渗透;渗流规律;实验方法;问题;解决思路

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2012)03-0049-04

0 前言

随着油田勘探开发的不断深入,低渗透油气藏所占的比例逐年上升,在油田开发中,低渗透油气藏的地位越来越重要。在该类气藏开发过程中,准确认识其渗流规律,可以极大地提高油气藏的开发效果。因此,研究低渗透油藏的渗流规律具有十分重要的意义。

在实验的基础上,国内外许多学者对低渗岩石的渗流规律进行了研究。不同的学者研究方法和手段不同,得出的渗流模型也各有差异,例如程时清、Halex、阮敏和姚约东等人都建立了自己的模型,但都存在一定的局限性^[1]。因此,在缺乏统一和完善的研究机制的情况下,相同岩样往往得不到一致的分析结果,实验数据的可靠性得不到保证,且大量低渗油气藏开发的疑难问题尚未解决,如单井产量低、压力下降快等^[2],这种情况对我国低渗透油气藏的开发非常不利,亟需形成一套完整的理论体系。

通过文献调研,对近年来国内外学者开展的实验

进行了总结,归纳了实验过程中存在的问题,并提出了一些初步可行的解决思路,以期为我国低渗透油气藏的实验研究提供理论依据。

1 低渗透岩石渗流规律的特征

Von Engelhardt 和 Tunne^[3]、Mitchell 等人^[4]曾先后发现了低渗透介质中的非达西现象,包括流速与水力梯度呈非线性比例关系和存在启动压力梯度,但没有对这种曲线关系作进一步研究。随后国内外许多学者^[5-7]在实验的基础上,对曲线关系进行了更深一步的研究,结果表明,在低渗透油气藏开发过程中,流体存在着非线性渗流的现象;渗流速度与压力梯度呈曲线关系;曲线不经过坐标原点,存在启动压力梯度。

2 低渗透岩石渗流规律实验研究现状

近年来许多学者在实验的基础上,对低渗岩石的渗流规律进行了研究。本文对此进行了总结和归纳,主

收稿日期:

2012-02-17

作者简介:

陈志明(1989-),男,湖北黄冈人,学士,现从事低渗透渗流规律方面的研究。

要有稳态法、“压差—流量”法、非稳定法、毛细管平衡法和平板模型法等。

2.1 稳态法

在实验过程中保持岩样两端压差恒定且流量相等,通过流动数据来研究低渗岩石渗流规律的方法称为稳态法。宋付权等人^[8]运用稳态法,在质量守恒定律的基础上,证明了低渗岩石中流体的流动具有非线性,并求出了拟启动压力梯度。王炯等人^[9]运用稳态法,进行了水驱油实验,结论与前者相似,并发现岩石的渗透率越低,启动压力梯度越高。但是,在稳态法的测量过程中,流量实现精确控制比较困难,达到稳定状态的时间较长。因此稳态法测定低渗非线性规律,费时费力,又难以保证实验精度,不常被学者所用。

2.2 “压差—流量”法

“压差—流量”法,也称稳定法,即在不同驱替压差下,测定流体通过低渗透岩心的流量,再用数学方法求得流量与压差的关系。获得渗流规律。Alvaro Prada^[10]利用“压差—流量”法,通过对天然和人工胶结岩心进行单相渗流实验,得出渗流曲线呈现非线性关系,且曲线不通过坐标原点。汪伟英等人^[11]通过在不同的驱替压差下,对致密的天然和人工胶结岩心进行实验,得出在低渗透油藏中流体的流动呈现出非线性特征,存在启动压力梯度。另外,许多学者^[12-14]也采用“压差—流量”法对低渗渗流规律进行研究,取得了一些成就。这种方法由于原理较简单,在室内实验中应用较为普遍。但是,由于实验需要测定多个不同驱动压差条件下的流量,低驱动压差条件下的流量较小,流量的控制及压差的测定误差较大,使得实验精度较低,不能完全满足生产要求。

2.3 非稳定法

非稳定法是一种关闭岩样注入端和定出口压力的实验方法^[15],即利用高压将流体注入岩样中,待流体吸附平衡后,再经过降压使流体从出口端排出,最终通过岩样出口端不断变化的压力和流量数据获得渗流规律。Alexander等人^[16]利用非稳定法,对低渗透岩样进行渗流实验,得出渗流速度与压力梯度呈曲线关系。张先敏等人^[17]同样利用非稳定法对阜新盆地煤样中甲烷的渗流规律进行了研究,发现甲烷渗流规律曲线具有明显的非线性特征,建立了相应的曲线方程,具有很强的指导意义。在非稳定法的实验过程中,实验数据的记录由实验设备完成,实验者只需将岩样入口端关闭即可,实验过程简单,精度较高。但该方法需要对数据进行连续记录,对实验设备要求较高。

2.4 毛细管平衡法

毛细管平衡法主要用于测定低渗岩石的启动压力梯度,以获得准确岩石的渗流规律。该方法应用连通器原理,测定时毛细管和岩心中充满实验流体,考虑低渗透岩心存在启动压力,两端液面需要经过充分平衡,最终保持一个高度差,此高度差就是该岩样的启动压力梯度。结合其他方法可以较完整地测定出低渗岩石的整个非线性渗流段。吕成远等人^[18]首次采用了毛细管平衡法与“压差—流量”法相结合的实验方法,对胜利油田的低渗岩样进行了实验,较为完整、准确地获得了低渗岩样的非达西渗流曲线。李爱芬等人^[19]结合“毛细管平衡法”与“稳态法”,测定了水相和油相的启动压力及“流速—压差”非线性关系,有力证明了低渗岩石的非线性渗流规律。利用毛细管平衡法能较准确地测定出整个非线性渗流段,它对硬件要求不高、操作简便、测定周期短,可同时测定多个岩样,但对于特低岩心,由于压力量程较小,此方法不适用。

2.5 平板模型法

平板模型法是在“压差—流量”法的基础上发展起来的一种新方法,即先利用天然低渗砂岩平板露头制作成平板模型,再进行渗流实验,获取压差与流量的数据,以研究实际低渗透储层的渗流规律。薛成国等人^[20]首次采用平板模型法进行了气驱水实验,证明了低渗透砂岩的非线性渗流规律,从微观上阐明了非线性渗流机理,具有较强的说服力。平板模型法采用的是低渗透天然平板模型,与传统的一维小岩心渗流实验相比,更能反映出流体在二维方向上的非线性渗流规律,但该方法对实验设备要求高,实验费用较昂贵。

3 实验研究存在的问题

3.1 低渗、低孔的复杂性

在渗流规律的研究实验中,因低渗岩石的复杂性,在很小的水力梯度作用下,流动数据难以准确测量,而且需要很长的流速稳定时间,实验时间延长,实验精度难以保证。

3.2 气体存在滑脱效应

当利用气体研究低渗岩石的渗流规律时,因为岩石孔道半径小,气体分子的平均自由行程与其流动所在的孔隙直径相当,气体滑脱效应所造成的影响会显现出来,对渗流规律的研究不利。

3.3 流体流动偏离达西定律

对低渗岩石而言,其孔隙系统可基本看作由小孔道组成,因受孔道表面边界表面张力的影响,只有当驱动压力梯度大于某孔道的启动压力梯度时,该孔道

中的流体才能流动,随着驱动压力梯度的不断提高,更多的孔道加入流动的行列,岩心的渗透性能随之增强,渗透率变大。因此,低渗透油藏中流体的流动偏离了达西定律,达西定律不再适用于低渗岩石的渗流^[21]。

上述问题制约了渗流规律实验的深入研究,加大了准确获得低渗透油气藏渗流规律的研究难度。

4 初步解决思路

4.1 准确获取实验数据

及时监测到很不明显的非线性渗流现象,即使在很小的水力梯度作用下,也能准确测量流动数据。例如设计测量微小流速的新方法;开发监测非稳定压力的新技术和新型实验仪器等。

4.2 减弱或消除气体滑脱效应的影响

如果利用气体测定低渗岩石渗流规律,应充分考虑气体滑脱效应等因素的影响,通过有效的方法和手段减弱或消除其影响,例如建立高压、低温和一定的液相饱和度^[22]等实验条件。

4.3 建立低渗研究新模型

对数据进行处理时,由于低渗透岩石中流体的流动偏离了达西定律,达西定律不再适用,因此不能简单地利用达西定律,而应对其进行改进或建立一些新模型。

5 结论

a)低渗透岩石渗流规律的实验研究方法缺乏统一和规范。经过总结和归纳,主要包括稳态法、“压差—流量”法、非稳定法、毛细管平衡法和平板模型法等。其中,稳态法原理最简单,但实验时间长,流量难以精确控制,实验精度难以保证;“压差—流量”法原理简单,应用较为普遍,但测定误差较大,不能完全满足生产要求;非稳定法实验过程简单,实验精度高,但对实验仪器的要求高;毛细管平衡法操作简单,实验周期短,但不适用于特低岩心;平板模型法实验结果真实可靠,但对仪器要求高,实验费用较昂贵。

b)低渗透岩石渗流规律的实验研究存在问题主要包括:实验数据难以准确测量;实验所需时间长;气体滑脱效应的影响;达西规律的偏离。解决问题的初步思路:设计微小流速测量方法;开发非稳定压力的监测设备;减弱或消除气体滑脱效应的影响;建立低渗研究新模型等。

c)目前低渗透岩石渗流规律的研究已取得较多成果,但实验研究方法仍缺乏统一和规范,实验中还存在一些问题,需要研究者在现有理论和实验的基

础上,不断发展和完善,使得低渗渗流规律的实验研究方法变得简单统一,使低渗透岩石的渗流研究向更高层次发展。

参考文献:

- [1] 徐维生,柴军瑞,王如宾,等.低渗透介质非达西渗流研究进展[J].勘察科学技术,2007,25(3):20-24.
- [2] 陈汝培,余汉成.井下节流工艺在低渗透气田的应用[J].天然气与石油,2009,27(2):1-4.
- [3] Von Englehardt W, Tunn W L M. The Flow of Fluids Through Sandstones[J]. Circ Ill State Geol Surv, 1955, 194: 1-17.
- [4] Mitchell J K, Younger J S. Abnormalities in Hydraulic Flow Through Fine-grained Soils [J]. ASTM Speech, 1967, 417: 106-141.
- [5] 程时清,徐论勋,张德超.低速非达西渗流试井典型曲线拟合[J].石油勘探与开发,1996,23(4):50-53.
- [6] 宋付权,刘慈群.低渗透多孔介质中新型渗流模型[J].新疆石油地质,2001,22(1):56-58.
- [7] 熊健,李凌峰.变形介质低渗透气藏水平井产能分析[J].天然气与石油,2011,29(5):50-52.
- [8] 宋付权,刘慈群.含启动压力梯度油藏的两相渗流分析[J].石油大学学报(自然科学版),1999,23(3):47-50.
- [9] 王炯,王艺景,陈彬,等.基于稳定流法的低渗透储层渗流规律实验研究[J].特种油气藏,2005,12(5):93-94.
- [10] Alvaro Prada, Faruk Civan. Modification of Darcy's Law for the Threshold Pressure Gradient [J]. Journal Petroleum Science and Engineering, 1999, 22(4): 237-240.
- [11] 汪伟英,张磊,杨文新,等.低渗透油藏非线性渗流规律研究[J].新疆石油天然气,2008,4(3):53-55.
- [12] 章星,杨胜来,张洁,等.致密低渗气藏启动压力梯度实验研究[J].特种油气藏,2011,18(5):103-104.
- [13] 刘露,李华斌,乔林,等.宝浪低渗油层注水压力变化规律及特征[J].油田化学,2011,28(2):133-136.
- [14] 黄贵存,向丽,马飞,等.新场气田难动用储量启动压力特征研究[J].钻井液与完井液,2011,28(2):70-72.
- [15] Skopetskii V V. Calculating Unsteady Seepage in a Pressure Gradient in the Presence of Thin Weekly Permeable Inclusion [J]. Journal of Mathematical Sciences, 1994, 72(2): 2992-2997.
- [16] Alexander J B, Tawfik N N. Analytical Model for the Capillary Pressure Gradient in Oil-water-rock System [J]. Transport in Porous Media, 2006, 65(2): 359-362.
- [17] 张先敏,冯其红,陈东,等.阜新盆地煤层气渗流规律实验[J].重庆大学学报,2011,34(4):58-61.
- [18] 吕成远,王建,孙志刚,等.低渗透砂岩油藏渗流启动压力梯度实验研究[J].石油勘探与开发,2002,29(2):86-89.
- [19] 李爱芬,张少辉,刘敏,等.一种测定低渗油藏启动压力

- 的新方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2008,32(1):68-71.
- [20] 薛成国. 特低渗透储层大型物理模拟实验研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2011.
- [21] 吕伟峰,秦积舜,吴康云,等. 低渗岩石孔渗及相对渗透率测试方法综述[J]. 特种油气藏,2011,18(3):1-6.
- [22] 周克明,李 宁,袁小玲. 残余水状态下低渗储层气体低速渗流机理[J]. 天然气工业,2003,23(6):103-107.
- ////////////////////////////////////