

文章编号: 1001-6112(2009)01-0105-04

渤海湾盆地东濮凹陷 桥口凝析气藏油—气相渗对比研究

刘振兴¹, 王乐之², 肖毅¹, 靳秀菊²

(1. 中国地质大学, 北京 100083;

2. 中国石油化工股份有限公司 中原油田分公司, 河南 濮阳 457001)

摘要:渤海湾盆地东濮凹陷桥口气藏是典型的凝析气藏, 开采过程中凝析油气在地层中渗流复杂, 生产压差、气井产能、采收率等开发指标预测难度较大。针对上述问题, 选用桥口气藏岩心, 采用稳态法分别测试常规油气相渗、平衡油气相渗以及降压过程凝析油气相渗特征, 并对测试结果进行对比分析。凝析油气相渗曲线与常规相渗曲线相比, 表现出低界面张力的特征, 反映凝析油气比常规油气在地层中更易流动。应用油藏模拟软件, 分别采用常规相渗曲线和平衡油气相渗曲线, 预测了桥口气藏油气采收率。与岩心衰竭实验对比, 平衡油气相渗曲线模拟结果较好地反映了凝析油气在地层中渗流情况以及气藏的采收率。

关键词:相渗曲线; 采收率; 凝析气藏; 东濮凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE31

文献标识码: A

COMPARISON RESEARCH BETWEEN OIL AND GAS RELATIVE PERMEABILITIES OF QIAOKOU CONDENSATE GAS RESERVOIR IN THE DONGPU DEPRESSION OF THE BOHAI BAY BASIN

Liu Zhenxing¹, Wang Lezhi², Xiao Yi¹, Jin Xiuju²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Zhongyuan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China)

Abstract: Qiaokou gas reservoir is a typical condensate one in the Dongpu Depression of the Bohai Bay Basin. Condensate oil/gas has complicated seepage flow in strata during the process of production, so the development parameters, such as producing pressure drop, gas well productivity, recovery efficiency and so on are not easy to predict. Focusing on above problems, the paper selected the rock cores of Qiaokou gas reservoir and adopted stable state methods to test relative permeability feathers of conventional, balance condensate, condensate in decompression process respectively. The comparative analysis results indicate that condensate oil/gas system presented feathers of low interfacial tension and more easily flow than conventional oil/gas. The paper predicted the oil/gas recovery efficiency of Qiaokou reservoir by applying pool simulation software and using conventional and balance relative permeability curves respectively. Compared with condensate oil in core experiment, the simulation result of balance oil/gas relative permeability curve can better reflect fluid flow of condensate oil/gas in strata and recovery efficiency of gas reservoir.

Key Words: relative permeability curve, recovery efficiency, Qiaokou condensate gas reservoir, the Dongpu Depression, the Bohai Bay Basin

渤海湾盆地东濮凹陷桥口凝析气藏储层颗粒细、孔隙小, 流体与储层多孔介质间的界面现象突出, 流体在多孔介质中流动极为复杂, 给开发增加

了很大难度^[1]。多孔介质中凝析油气的渗流与常规相渗、常规 PVT 实验结果之间存在较大差异^[2,3]。因此, 研究多孔介质中流体的渗流特征

收稿日期: 2007-11-05; 修订日期: 2008-12-12。

作者简介: 刘振兴(1971-), 男, 博士生, 高级工程师, 主要从事油气田开发地质研究。E-mail: liulzx1971@sina.com。

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2003BA613A-07-07)。

对认识气藏实际开发状况具有重要意义。目前国内外的研究较少,可借鉴性受到了一定的限制。本文以桥口凝析气藏大量的岩心相渗实验数据为依据,对比分析凝析气藏油—气相渗特征,并应用于凝析油气采收率预测。

1 凝析气藏相渗影响因素

根据前人研究成果,凝析气藏相对渗透率受多孔介质特性、界面张力、原生水、流速、润湿性、重力、毛管力等因素的影响^[4]。

1.1 界面张力

受凝析气液组成的影响,界面张力会影响流体饱和度以及相对渗透率。对于凝析油体系,随界面张力上升,凝析液相对渗透率比凝析气相对渗透率下降快。

1.2 流速

凝析油气相对渗透率受流速影响很大,随流速上升,凝析油气相对渗透率增大,凝析油的增加幅度低于凝析气。但随界面张力的上升,油气相对渗透率的速敏性降低。

1.3 润湿性

不同润湿性地层,油气藏流体渗流机理不同。前人研究表明,当非湿相饱和度小于等于 10% 且界面张力小于 0.1 mN/m 时,非湿相的流动是不连续的;当界面张力变得更低时,这些非湿相被驱成长薄纤维状,当它通过多孔介质时是连续地分散和聚集^[5]。

1.4 孔隙间水

含水饱和度的高低对凝析气和凝析液的流动都会有影响。在水湿岩心中,原始含水的水膜占据了颗粒粗糙的表面和所有的小孔隙。当孔隙间水饱和度上升时,临界凝析液饱和度下降。

1.5 重力、毛管力

重力驱的动力是由于密度差异以及低界面张力产生。毛管力是由于岩心与流体之间相互吸引而造成的多孔介质中的相压力差。受润湿性的影响,湿相的毛管力最低。驱替机理始终是两个因素的平衡作用。

2 常规油—气相渗研究

实验室测量相渗曲线分稳态法和不稳态法 2 种。因稳态法测量过程中流体的流动特征与实际凝析气藏开发过程中的油气流动特征较接近,因此采用稳态法进行测试。

2.1 实验方法

采用桥口气藏桥 75 井岩样 1 ($\Phi=12.77\%$,

$K=6.57 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$), 选用煤油(粘度 1.1 mPa·s) 和氮气(粘度 0.017 5 mPa·s) 进行常温下稳态法相渗测试。

先饱和地层水,然后再用氮气驱测试束缚水下的气相渗透率,再按油饱和度逐渐增大的方式测试油驱气过程相渗曲线,同时测定束缚水含量;再采用逐渐增大含气饱和度气驱油方式进行测试。

2.2 测试结果

油驱气过程中油相相对渗透率略大于气驱油过程油相相对渗透率,而油驱气过程气相相对渗透率比气驱油过程时小,且差值随含油饱和度的降低而增大(图 1),这主要是由毛细管润湿滞后现象引起的。

3 平衡凝析油—气相渗研究

3.1 实验方法

凝析油体系在多孔介质中的流动及流体分布不同于传统的油气流动,而且凝析气田的开发方式(多数为衰竭式开发)也不同于传统的注水开发油田的方式。实验采用稳态法,首先在岩心中饱和地层凝析气,然后衰竭到临界流动饱和度^[6]。确定临界流动饱和度所对应的地层压力并配置该压力下的平衡油和平衡气,用该平衡油气作为稳态法测试的入口流体,用已知的流体粘度以及岩石物性参数,根据达西公式计算,得到低界面张力的实际平衡凝析油气的相对渗透率值。

3.2 平衡凝析气样品配制

用桥 75 井岩样 1 ($\Phi=12.77\%$, $K=6.57 \times$

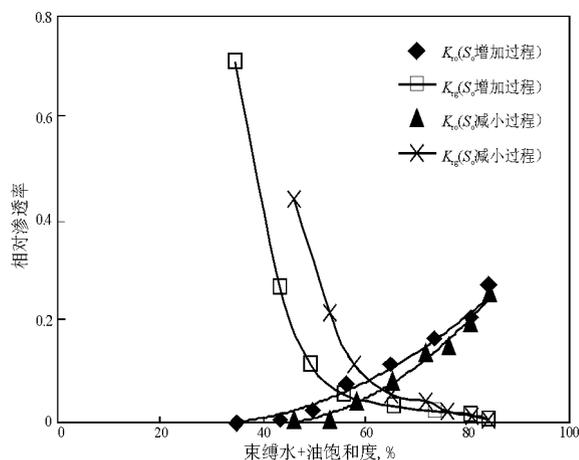


图 1 渤海湾盆地东濮凹陷桥 75 井岩样 1 常规油—气相渗曲线

K_{ro} 为油相相对渗透率; K_{rg} 为气相相对渗透率; S_o 为油饱和度

Fig. 1 Conventional oil/gas relative permeability curve of sample 1 in Well Qiao75 of the Dongpu Depression, the Bohai Bay Basin

$10^{-3} \mu\text{m}^2$), 先进行临界流动饱和度测试, 得到临界流动条件对应的压力, 按对应压力进行平衡油气样的配制。配好后分别进行组成测试即相关 PVT 参数的测试, 得到平衡油样及平衡气样。根据 SY/T 5543-92 标准中的规定对平衡油、气样进行平衡性检验, 确定所配制的流体是否处于相平衡状态。

3.3 测试结果分析

分析实验结果, 平衡油—气相渗具有以下特征(图 2): 1) 该体系中凝析油易于流动。采用平衡凝析油气测得的凝析油气相渗曲线($T=100\text{ }^\circ\text{C}$, $P=47.38\text{ MPa}$, $\sigma=0.0034\text{ mN/m}$)与常规煤油—氮气相渗曲线(常温, $\sigma=30\text{ mN/m}$)相比, 平衡油相渗曲线处于常规油气相渗曲线的上方, 说明该体系凝析油易于流动。2) 天然气流动启动饱和度比常规相渗大。平衡油—气相渗测量的天然气渗流启动饱和度为 18.84%, 比常规稳态法测试结果(15.94%)高 2.9%。说明该体系在气藏实际油气渗流中, 天然气流动的启动条件要比常规相渗测量结果略高。3) 气相相对渗透率随着含油饱和度的升高急剧下降, 尤其在含油饱和度增加初期。当含油饱和度增加到 5% 时, 气相相对渗透率从 0.64 迅速下降到 0.4 左右, 下降幅度 37.5%; 当含油饱和度增加到 10% 时, 气相相对渗透率已降至 0.3, 下降幅度达 53.1%。由此可见, 反凝析油含量的增加对气相的流动伤害严重^[7]。4) 平衡凝析油气相相对渗透率比煤油和氮气气相相对渗透率高, 但平衡油相相对渗透率比氮气—煤油测试的油相相对渗透率要高得多。

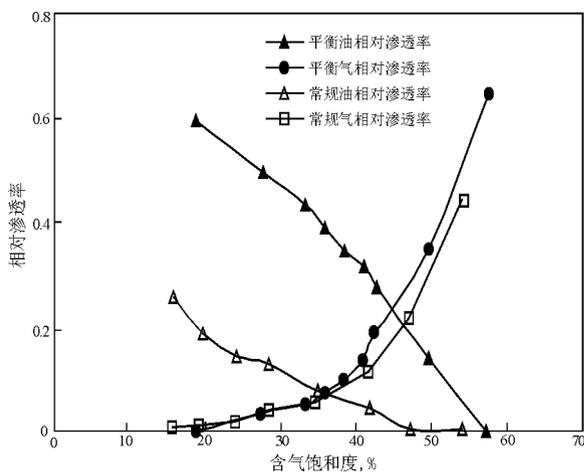


图 2 渤海湾盆地东濮凹陷桥 75 井岩样 1 常规相渗与平衡凝析油—气相渗曲线对比

Fig. 2 Comparison of relative permeability curve between convention and balance condensate of sample 1 in Well Qiao 75 of the Dongpu Depression, the Bohai Bay Basin

4 降压开采过程中凝析气相渗研究

4.1 实验方法

降压相渗的目的是测试凝析气藏在开采过程中凝析油析出后对气相渗流能力的影响, 是一个变压及变界面张力的测试过程。可以用它来评价凝析气藏的凝析油污染程度, 降压过程中凝析油与凝析气间的对流与扩散作用及凝析油的蒸发作用, 从而对生产动态进行指导^[8]。

选用桥 69-5 井 14 号岩心($\Phi=11.91\%$, $K=8.81 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $S_w=35\%$)测试降压开采过程中凝析气相渗的变化。其中, 实验用凝析气为按照部颁标准 SY/T 5543-2002, 用桥口气藏桥 70 井分离器气样和塔里木吉拉克 105 井地面脱气油油样, 按露点压力 32.4 MPa 配制得到。实验温度为 90 $^\circ\text{C}$, 实验压力 41.38 MPa。

4.2 降压开采过程中凝析气相渗分析

从测试结果可得出: 1) 降压过程凝析气相渗曲线与常规油气相渗曲线有较大差别(图 3)。降压过程岩心中凝析油饱和度远低于常规测试过程的油相饱和度, 降压过程凝析气相渗曲线向右偏移, 且气相相对渗透率比常规测试要高得多。主要是因为降压过程中凝析气蒸发作用, 以及 2 种实验界面张力差异很大, 使岩心中凝析油饱和度较低, 最大仅为 5.26%, 凝析气相相对渗透率最低为 0.48, 远高于常规测试的气相相对渗透率。2) 降压过程凝析气相渗曲线与测试的平衡凝析油气相渗曲线, 也有一定差别(图 4)。降压测试过程中, 同样由于

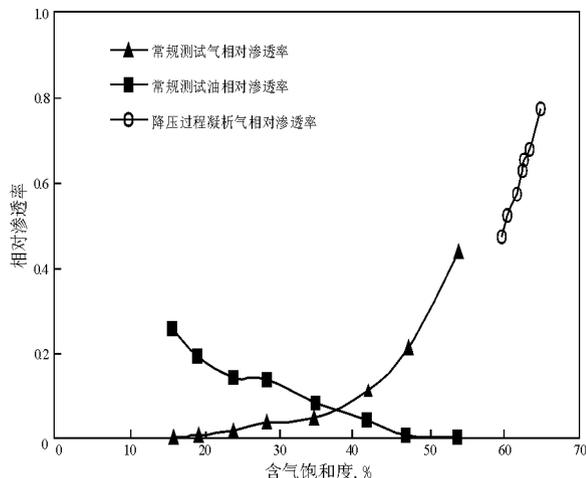


图 3 渤海湾盆地东濮凹陷桥 69-5 井岩样 14 降压过程凝析气相渗与常规油气相渗曲线对比

Fig. 3 Comparison of relative permeability curve between condensate during pressure dropping process and convention of sample 14 in Well Qiao 69-5 in the Dongpu Depression, the Bohai Bay Basin

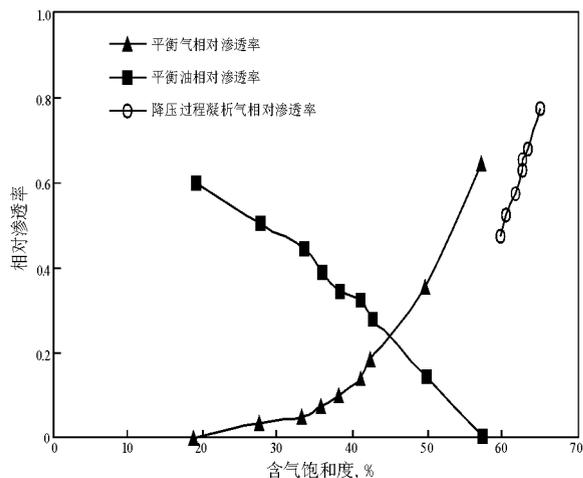


图 4 渤海湾盆地东濮凹陷桥 69-5 井岩样 14 降压过程凝析气相渗与平衡凝析油气相渗曲线对比

Fig. 4 Comparison of relative permeability curve between condensate during pressure dropping process and balance condensate of sample 14 in Well Qiao 69-5 in the Dongpu Depression, the Bohai Bay Basin

凝析气蒸发作用,岩心中凝析油饱和度较低,因而凝析气相渗曲线偏向右方。气相相对渗透率也高于平衡凝析油气测试得到的气相相对渗透率。

5 相渗对油气采收率的影响

采用 CMG 中 GEM 对流体相态以及凝析油气采收率进行模拟。模拟中分别采用常规相渗曲线和平衡油气相渗曲线预测其衰竭动态,并将模拟结果与岩心衰竭实验进行对比。采用常规相渗曲线模拟,无论在早期还是晚期,近井地带凝析油饱和度均较高,预测凝析油采收率为 16.85%。而采用平衡油气相渗曲线模拟,预测凝析油采收率为 20.21%,与岩心衰竭实验实测凝析油采收率(20.15%)非常接近。对于天然气的采收率,2 种相渗曲线预测的结果与衰竭实验结果都比较接近。

6 结论

1) 采用平衡凝析油—气样测得的凝析油气相

渗曲线与常规的煤油—氮气相渗曲线相比,凝析油气比常规油气易于流动。

2) 平衡油气体系油相相对渗透率随着含油饱和度的降低呈线性快速下降,气相相对渗透率随含油饱和度的降低在初期缓慢上升,之后呈线性快速上升。

3) 平衡凝析油体系凝析气相相对渗透率比常规煤油和氮气气相相对渗透率略高,但凝析油相相对渗透率比常规煤油和氮气测试的油相相对渗透率要高得多,凝析油气相渗曲线表现出低界面张力特征。

4) 常规相渗曲线模拟采收率的结果与岩心实验结果相差很大,而平衡油气相渗曲线能够较好地反映凝析油气在地层中的渗流情况以及气藏采收率,建议凝析气藏数值模拟采用平衡凝析油气相渗曲线。

参考文献:

- 1 王乐之,王志祥. 东濮凹陷深层低渗凝析气藏类型判别研究[J]. 断块油气田,2006,13(5):28~30
- 2 Wilson S D, Chen H L. Determination of relative permeability and recovery for North Sea gas condensate reservoirs [J]. SPER, 1999(8):393~402
- 3 Henderson G D, Danesh A. Generating reliable gas condensate relative permeability data used to develop a correlation with capillary number [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2000, 25:79~91
- 4 苏畅,郭平,李士伦等. 凝析油气微观流动及相渗规律研究[J]. 天然气工业,2002,22(4):61~64
- 5 Jane D Gray. Modeling low IFT hydrocarbon phenomena in porous media[R]. SPERE,1991. 353~359
- 6 郭肖,疏壮平,郭平等. 采用凝析油气测量凝析气藏相对渗透率[J]. 天然气工业,2004,24(2):82~84
- 7 高奕奕,孙雷,张庆生等. 低渗凝析气井反凝析、反渗吸伤害及解除方法[J]. 西南石油学院学报,2005,27(2):45~49
- 8 毕建霞,戚志林,郭平等. 降压开采过程中凝析油气相渗实验研究[J]. 天然气工业,2006,26(10):108~110

(编辑 李凤丽)