

油气藏流体相态数据现场应用方法研究

王军委

(中国石油长城钻探测试公司, 北京 100101)

摘要:将油气藏流体高压物性实验数据直接应用于现场生产动态分析,目前国内还没有相关文献报道,主要受限于闪蒸分离和差异分离等实验过程与实际生产情况有较大差异,国外文献报道的公式都是利用大量的实验数据回归得到,没有理论证明或实验验证,导致公式并不统一。为解决此问题,首次设计了饱和压力下不同压力的多级分离器模拟实验,通过实验数据验证各公式的准确性,明确了油藏流体高压相态数据现场直接应用方法,为油田现场生产动态的认识提供了方法保障。

关键词:PVT 分析 差异分离 多级分离器 闪蒸分离

中图分类号:TE375 **文献标志码:**A

Study on field application method of PVT data for reservoir fluids

WANG Junwei

(The Great Wall Drilling and Testing Company, PetroChina, Beijing 100101, China)

Abstract: In domestic research, now no relevant literature has been reported on the experimental data of high pressure physical properties directly applied in dynamic analysis of field production. This mainly is limited by bigger difference between actual production conditions and experimental process of flash separation and differential liberation. The formulas reported by foreign literature are obtained by fitting lots of experimental data. Because these formulas are not verified by the theory or experiments, they are inconsistent with each other. To solve the problems, it was for the first time designed the simulation experiments of various pressures for the multi-stage separator under saturation pressure. Firstly, the accuracy of every formula was verified by experimental data. And then it was specified the field application method of PVT data for reservoir fluids. So this can provide technical guarantee for recognizing the dynamic production of oilfields.

Key words: PVT analysis; differential liberation; multistage separator; flash liberation

油气藏流体高压物性实验目的是研究模拟开采条件下油气藏流体的相态和性质变化^[1]。对于衰竭式开采油气藏,随着油气藏流体的采出,地层压力逐渐下降。而开采过程中地层温度保持不变,因此在衰竭式开采期间,决定地层中流体性质的主要变量是地层压力。因此可通过改变压力来实验模拟开采过程。首先针对不同类型的油气藏,以合适的方法取得能代表地层流体的样品,然后在实验室模拟各种开采过程,以得到准确可靠的高压物性数据。这些数据是合理开发油气藏的基础,评价油气藏、计算油气藏储量、制订开发方案和采油工艺均需要这些数据。

长城钻探测试公司于 2014 年从法国 ST 公司引进全套油气藏流体相态(PVT)分析设备,已在伊拉克成立 PVT 分析专业实验室,主要用于分析地面分

离器和井下取样(含 DST、MDT 和 PDS)的流体样品,能够实现等组分膨胀,等体积膨胀,差异分离,露点测定和全组分分析等全套流体相态分析项目,就设备而言,在国内处于领先地位,国际上也是一流设备。但伊拉克是高端技术服务市场,目前 PVT 分析主要被 SLB、SGS 和 Corelab 等国际化公司占据,与我们的 PVT 实验室形成直接竞争。由于 PVT 分析技术含量高,如何解决我们的伊拉克 PVT 实验室的数据质量控制难题,提高各参数测量精度,是建设标准 PVT 实验室的一项紧迫任务。

收稿日期:2018-04-24;改回日期:2018-07-14。

作者简介:王军委(1983—),工程师,主要从事油气藏测试及流体分析工作。E-mail:44824478@qq.com。

1 问题的提出

油气藏流体高压物性实验主要是等组分膨胀实验、差异分离实验和闪蒸分离实验,目的是获取地层流体饱和压力、相对体积和 Y 函数、压缩系数、热膨胀系数、单次气油比、溶解气体系数、体积系数、体积收缩率、各级压力下气油比、脱出气的偏差系数以及油气双相体积系数等。这些高压物性实验参数通过相态软件处理,生成大型数值模拟软件所需的参数格式,进行开发方案的编制。但现场却无法将这些参数直接用来指导生产^[2]。原因是闪蒸分离得到的高压物性参数是从油藏条件直接放空到大气条件,为一次接触,许多轻组分并未从油中分离,与实际油藏开发情况不符。差异分离实验是 6 到 8 次接触,每级平衡后将平衡釜保持恒定压力,排出产生的气体,轻组分充分从原油中脱出,获得残余油组分最重,但同样和实际生产情况有差异。

油藏开发过程中,地层原油从井筒流入地面分离器或者储罐,在这些地面分离设施中充分平衡,通常会有 1 到 3 级分离设施,压力范围 0.5 ~ 2 MPa,和实验条件差异很大,即使在相态实验中增加模拟多级分离器实验,也因为油藏开发是压力逐渐下降过程,而模拟实验是从油藏初始压力直接降至分离器压力,无法表达储层下降后的生产过程,导致高压物性实验获得的参数不能直接应用于现场,给现场生产指导带来不便^[3]。

2 解释方法

如何将 PVT 高压物性实验数据和现场地面分离设施结合起来,使高压物性实验数据能直接应用于现场,目前国内还没有相关文献报道,从外文文献^[4]可得到下述公式:

2.1 生产气油比折算

$$R_{si} = R_{sbs} (R_{sbd} \cdot R_{sdi}) (B_{obs}/B_{obd}), i = 1 \cdots n \quad (1)$$

式中, R_{si} 为各级压力下,根据地面设施条件,差异分离实验折算的气油比; R_{sbs} 为泡点压力下,模拟地面分离设施实验的气油比; R_{sbd} 为泡点压力下,差异分离实验气油比; R_{sdi} 为各级压力下,差异分离气油比; B_{obs} 为泡点压力下,模拟地面分离设施实验的油相体积系数; B_{obd} 为泡点压力下,差异分离实验的油相体积系数;为差异分离的实验步数。

2.2 油相体积系数折算

$$B_{oi} = B_{odi} (B_{obs}/B_{obd}) \quad (2)$$

式中, B_{oi} 为各级压力下,根据地面设施条件,差异分离实验折算的油相体积系数; B_{odi} 为各级压力下,差异分离油相体积系数。

文献中并未有该公式的适用范围,而该公式计算结果经常出现低压下存在气油比为负值,油相体积系数小于 1,也即低于死油的情况,说明该公式并不严谨,结合上百口井的高压物性数据,文献^[5]又给出了下述公式:

$$R_{si} = R_{sdi} (R_{sbs}/R_{sbd}) \quad (3)$$

$$B_{oi} = B_{obs} + [(B_{obd} - B_{odi}) / (B_{obd} - B_{odd})] \times (B_{odd} - B_{obs}) \quad (4)$$

式中, B_{obs} 为泡点压力下,模拟地面分离设施实验的油相体积系数; B_{obd} 为泡点压力下,差异分离实验的油相体积系数; B_{odi} 为各级压力下,差异分离的油相体积系数; B_{odd} 为最后一级分离压力下的油相体积系数。

文献^[6]也结合大量实验数据,并进行归纳总结,给出的公式如下:

$$R_{si} = R_{sdi} (R_{sbs}/R_{sbd})$$

$$B_{oi} = B_{odi} (B_{obs}/B_{obd})$$

上述文献公式都是在大量的实验数据分析基础上,利用数据回归得到,未进行理论证明或实验验证,公式不统一;而对上述情况进行验证,未见文献报道,目前各海外油公司在选择时 3 篇文献方法都有应用,而究竟如何选择并无理论和实际依据。为解决此问题,本文设计了室内实验,目的是获取有实验支撑的油藏流体 PVT 数据现场应用方法。

3 实验分析

伊拉克南部油田某井为明确井下流体情况下,在 2 796 m 用 PDS 取样器取样。初步分析泡点压力 19.4 MPa,样瓶开启压力 22.6 MPa,样瓶取样压力 27.3 MPa,说明样品合格,可进行 PVT 实验。进样时确保组分不变,测得样品泡点压力 19.7 MPa,气油比 131.9 m³/m³,油相体积系数 1.363 (见表 1)。实验共耗时 2 d,得到了储层评价所需参数。

对差异分离数据和地面分离器实验数据按照公式(1)~(4)处理,见图 1 和图 2。

图中公式(1)计算的曲线后半段出现气油比为负值,公式(2)计算的油相体积系数低于死油,说明公式(1)和(2)在低压下不适合,但还无法判断其计算曲线中段及后半段以及公式(3)和(4)是否准确?为继续评价,在 11.7,9.0,6.2 MPa 压力点分别进行分离器实验,实验方法和常规分离器实验有所区别。

表 1 差异分离实验数据

压力/MPa	气油比/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	体积系数无因次	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	压缩因子无因次	气体 FVF 无因次	气体比重无因次
19.7	131.90	1.363	0.744 7			
16.5	113.14	1.324	0.752 3	0.761 9	0.005 3	0.746
13.1	96.90	1.285	0.765 5	0.783 4	0.006 8	0.771
10.0	78.38	1.254	0.779 1	0.801 3	0.009 2	0.788
6.9	58.99	1.218	0.795 8	0.827 3	0.013 7	0.835
4.5	45.32	1.185	0.815 9	0.867 2	0.022 1	0.876
2.1	28.75	1.139	0.842 2	0.917 7	0.050 8	0.989
0.1		1.044	0.871 9			1.475

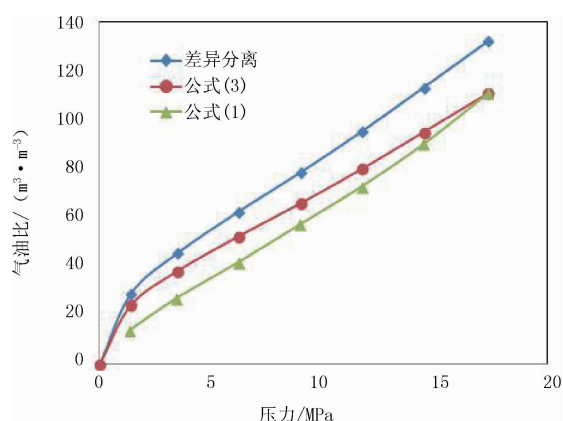


图 1 气油比对比

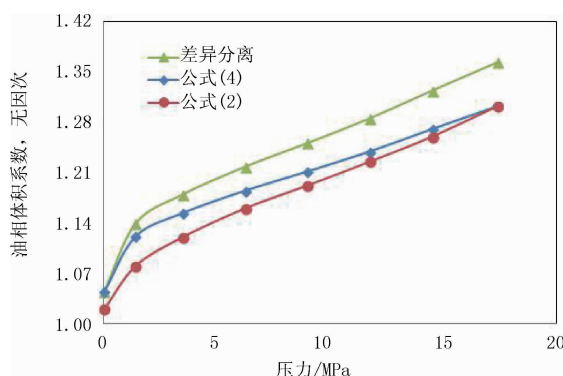


图 2 油相体积系数对比

首先对井下高压样品进行前处理和有效性分析,混样到单相状态,然后保持恒温转样,减小压差,保持组分不变,进样后反复搅拌,保持混样均匀后实验,共平行进三次样,分别降压至 11.7, 9.0, 6.2 MPa, 然后进行分离器测试,得到的评价结果见表 2。

实验发现,公式(3)预测误差低于 5%,公式(4)误差低于 2%,相同情况下公式(1)误差甚至接近 30%,公式(2)误差超过 3%。所以公式(3)和(4)与实验数据较为吻合,可作为数据处理的方法。高压相态实验费用高,通常在勘探期间评价储层流体时进行,对油藏流体相态数据方法的研究可延续实验数据的有效性,使得储层压力下降后的开发阶

段也能使用勘探期间的实验数据来指导现场实践,节约了大量的实验成本,对现场的重要性不言而喻。

表 2 Ismail-1 井分离器实验评价结果

分离压力/MPa		11.7	9.0	6.2
气油比	公式(1)/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	73.02	57.28	42.22
	公式(3)/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	79.77	65.58	52.43
	同压下分离器实验	82.54	68.52	54.68
	与公式(1)偏差/%	13.03	19.64	29.51
	与公式(3)偏差/%	3.47	4.49	4.29
体积系数	公式(2), 无因次	1.226	1.192	1.159
	公式(4), 无因次	1.239	1.211	1.184
	同压下分离器实验	1.245	1.233	1.197
	与公式(2)偏差/%	1.55	3.44	3.28
	与公式(4)偏差/%	0.48	1.82	1.09

4 结论

(1) 闪蒸分离和差异分离实验与实际生产情况有差异,通常地层原油经过井筒流入地面分离器或者储罐,在这些地面分离设施中充分平衡,且油藏开发是地层压力不断下降的过程,使得高压物性实验难以描述实际生产过程,获得的高压相态参数不能直接应用于现场。

(2) 国外文献对高压相态实验直接应用于现场进行了探讨,但公式都是在大量数据回归分析基础上得到,没有理论证明或实验验证,公式不统一。为此,针对上述情况进行探索和研究,针对性地设计了饱和压力以下三个点进行地面分离器实验模拟,验证了国外文献公式的准确性和差异性。

(3) 公式(3)和(4)与实验数据较吻合,可作为数据处理的方法。通过本文研究,选择正确解释高压相态数据方法,在油田生产动态的认识和方案决

(下转至第 80 页)

表 3 DPH - × × × 井水平段钻遇情况统计

水平段长/m	砂岩		显示段砂岩		泥岩	
	井段长度/m	占百分比/%	井段长度/m	占百分比/%	井段长度/m	占百分比/%
1 200	1 040	86. 67	729. 5	60. 79	160	13. 33

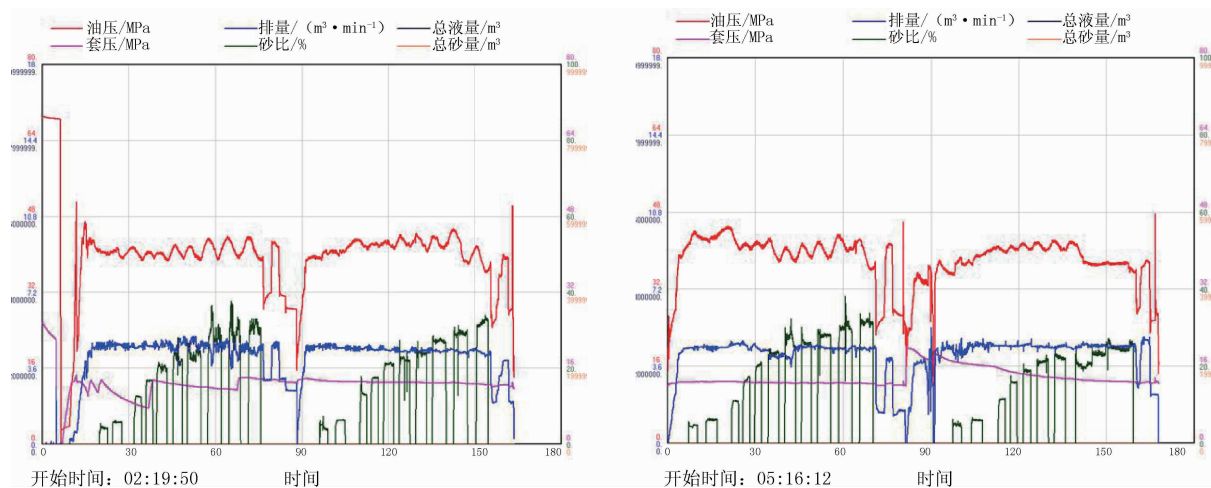


图 6 DPH - × × × 井盒 1 气层部分井段压裂施工曲线

4 结论

(1) 纤维脉冲加砂压裂技术能够有效防止支撑剂回流,改善支撑剂铺置剖面,且在获得相同支撑缝长的条件下,脉冲段塞加砂泵注程序和常规加砂泵注程序相比,支撑剂的用量减少了 40%,前置液用量减少了 41.2%,总液量减少了 13.3%。

(2) 纤维脉冲加砂压裂技术在大牛地气田 DPH - × × × 井运用,与同层位地质显示接近的 DPH - 128 井相比,产量显著提高。

参考文献:

- [1] Bowker K A. Barnett shale gas production, Fort Worth Basin: Issues and discussion[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 523 - 533.
- [2] Howard P R. Fiber/proppant mixtures control proppant flowback in south Texas[C]. SPE 30495.
- [3] Simon G J. Proppant flow back control in high temperature wells[C]. SPE 39960.

- [4] Dahlem J, Harting T, Heidt H. Microfibers hold every - thing in place[J]. E&P. 2005, 78(11): 32 - 34, 37.
- [5] 黄禹忠,任山,兰芳,等. 纤维网络加砂压裂工艺技术先导性试验[J]. 钻采工艺, 2008, 31(1): 77 - 79.
- [6] 吴亚红,温庆志,张凌筱,等. 支撑剂返排控制优化[J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 662 - 665.
- [7] 米卡尔 J·埃克诺米德斯. 油藏增产措施[M]. 3 版. 北京:石油工业出版社, 2002: 257 - 259, 157.
- [8] 牛宝荣. 提高裂缝导流能力的新方法[J]. 国外油田工程, 2001, 17(3): 1 - 5.
- [9] 张旭,蒋廷学,贾长贵,等. 页岩气储层水力压裂物理模拟试验研究[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2): 70 - 74.
- [10] 陈勉,金衍. 基于岩心分析的页岩气压裂工艺参数优选[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(4): 7 - 12.
- [11] 何红梅,李尚贵,杨兵,等. 纤维对支撑剂导流能力影响实验研究[J]. 钻采工艺, 2009, 32(1): 75 - 77.
- [12] 张朝举,张绍彬,谭明文,等. 预防支撑剂回流的纤维增强技术实验研究[J]. 钻采工艺, 2005, 28(4): 90 - 94.

(编辑 韩枫)

(上接第 62 页)

策方面起着重要作用。

参考文献:

- [1] STANDING M B. Volumetric and phase behavior of oilfield hydrocarbon systems[M]. Millet Print Inc., Dallas (1977) 81.
- [2] MOSES P L. Engineering applications of phase behavior of crude oil and condensate systems[J]. JPT, July, 1986: 715.
- [3] AMYX J W. Petroleum reservoir engineering[M]. McGraw Hill

Book Co. Inc., New York City (1960): 392 - 399.

- [4] WILLIAM D. Analysis of black oil PVT reports revisited[J]. SPE 77386, 2002.
- [5] AL - MARHOUN M A. Adjustment of differential liberation data to separator conditions[J]. SPE 84684, 2003.
- [6] AL - MARHOUN M A. Adjustment of differential liberation data to separator conditions[J]. SPE 68234, 2001.

(编辑 谢葵)