

富含凝析油型凝析气藏衰竭开发采收率研究*

郭平¹ 杜志敏¹ 苏畅¹ 李海平² 李士伦¹ 孙良田¹

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院 2.中国石油天然气股份有限公司)

郭平等.富含凝析油型凝析气藏衰竭开发采收率研究.天然气工业,2004;24(11):94~96

摘要 目前,标准的PVT筒中的凝析气定容衰竭实验都是在空筒内完成的,没有考虑多孔介质的影响,这与实际情况相差甚远。文章采用富含凝析油型真实凝析气体系分别在PVT筒和长岩心中进行衰竭实验,表明多孔介质中凝析油采收率比PVT中高约1倍,天然气采收率和PVT筒中测试相比差别不大。此外,还开展了真实凝析油气相渗曲线和常规油气相渗曲线测试,发现二者差别很大,经过进一步的分析,表明造成凝析油采收率差别的主要原因是凝析油气相渗曲线的差别。研究还发现凝析气藏凝析油采收率有速度敏感性,衰竭速度快有利于提高凝析油采收率;常规PVT筒测试的凝析油采收率不能用于开发评价,在开发方案及动态分析数值模拟中,使用平衡凝析油气相渗曲线对多孔介质中凝析油采收率预测更为可靠。

主题词 凝析油气田 衰竭油气藏 高压物性 束缚水 采收率 相态

凝析油气体体系是低界面张力体系,两相之间产生相变和质量互换,不同于传统的高界面张力的油气体体系,在多孔介质中渗流时的渗流特征也不同^[1~3]。由于影响多孔介质中相态的因素很多,而且尚未完全弄清楚,但采用实际岩心和流体进行衰竭试验对提高凝析油气田采收率仍具有指导意义。

一、实验流体相态特征

采用四川某油气田的凝析油含量较高的凝析气井地面分离器油样和分离器气样及适量液化气配制成两种不同的凝析气体体系。为了能模拟地层下较高的凝析油饱和度,设置地层温度50℃下进行配样。配出1[#]、2[#]流体的凝析油含量分别为335.2 g/cm³和423.6 g/cm³。通过油气组成色谱分析及井流体组成计算,地层流体组成见表1。

将配置的凝析气在PVT筒中进行等组成膨胀(CCE)和等容衰竭(CVD)测试,CVD测试作为与长岩心中采收率的对比基础,研究表明1[#]、2[#]流体在实验温度50℃下的露点压力为28.69 MPa。在CVD测试中最大反凝析油饱和度分别为16 MPa时的20.72%和20 MPa时的27.06%。两种流体产出油气比都随衰竭压力的降低而持续上升。1[#]流体在

压力4 MPa下,天然气的采收率为86.61%,凝析油的采收率11.87%。2[#]流体在压力4 MPa下,天然气的采收率为85.33%,凝析油的采收率9.99%。

表1 所配两种流体的井流体组成组分

组分	1 [#]	2 [#]	组分	1 [#]	2 [#]
CO ₂	0.26	0.21	nC ₅	0.76	1.11
N ₂	0.68	0.22	C ₆	1.79	1.74
C ₁	75.20	73.51	C ₇	0.83	1.38
C ₂	8.42	6.23	C ₈	0.58	0.97
C ₃	5.00	3.01	C ₉	0.54	0.77
iC ₄	1.44	2.89	C ₁₀	0.35	0.48
nC ₄	1.55	3.65	C ₁₁₊	1.68	1.43
iC ₅	0.93	2.40	凝析油含量(g/m ³)	335.2	423.6

二、长岩心中凝析气衰竭实验

1. 实验内容

研究工作是在Hycal长岩心中进行的,所用的主要设备及样品有:驱替泵、凝析气样、分离器气、岩心夹持器、中间容器、高压观察窗、恒温系统。实验所用岩心为牙哈401井区岩心,平均渗透率为 $22.0775 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度为13.1875%,岩心

* 本文受油气藏地质及开发工程国家重点实验室资助(PLN9924)。

作者简介:郭平,1965年生,副教授,SPE会员,在读博士研究生;现从事油气相态、气田及凝析气田开发、注气提高油气采收率及采气工艺等方面研究。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油学院石油工程学院。电话:(028)83033014、13908076902。E-mail:guopingswpi@vip.sina.com

总孔隙体积为 17.0559 cm^3 , 总长度为 26.54 cm 。开展的实验工作及临界流动饱和度和见表 2。

表 2 长岩心中衰竭实验内容及临界流动饱和度

流体代号	实验代号	束缚水含量(%)	衰竭速度	饱和度(%)	压力(MPa)
1 [#]	1	22.4	0.12		
1 [#]	2	22.4	0.06		
1 [#]	3	0	0.12		
2 [#]	4	0	0.2	12.69	21.16
2 [#]	5	22.4	0.2	11.7	22.08
2 [#]	6	22.4	0.1	13.68	21.94 2

2. 实验结果及分析

两种流体衰竭凝析油采收率对比见图 1、2, 束缚水的存在降低了凝析油采收率, 对天然气采收率基本无影响。对于 1[#] 流体, 在同样的岩心衰竭速度下, 衰竭 1 ($S_{wi}=22.4\%$) 在 6.90 MPa 下的凝析油采收率为 25.3%, 天然气采收率为 76.8%; 衰竭 3 ($S_{wi}=0\%$) 在 7.19 MPa 下的凝析油采收率为 42.7%, 天然气采收率为 74.2%。对于 2[#] 流体, 在同样的岩心衰竭速度下, 衰竭 4 ($S_{wi}=0\%$) 在 6.90 MPa 下的凝析油采收率为 28.71%, 天然气采收率为 73.4%;

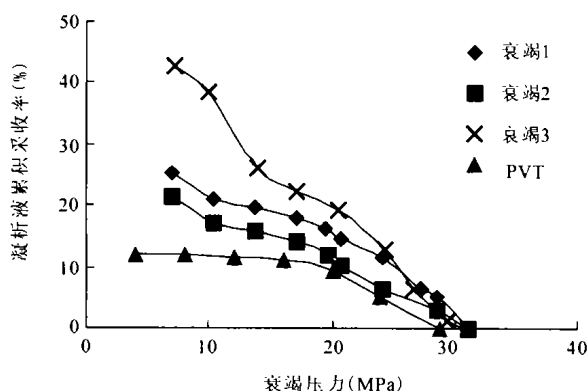


图 1 1[#] 凝析气凝析油累积采收率比较

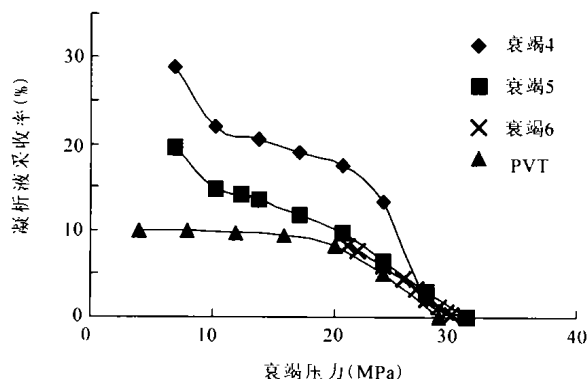


图 2 2[#] 凝析气凝析油累积采收率比较

衰竭 5 ($S_{wi}=22.4\%$) 在 6.90 MPa 下的凝析油采收率为 19.6%, 天然气采收率为 74.70%。可见, 束缚水的存在都是大大降低了凝析油的采收率, 对天然气的采收率基本没有影响。初步分析认为, 当岩心中含束缚水时, 存在两种不同的作用机理: ① 束缚水的存在占据了小孔隙, 使得凝析油因不必充填小孔隙而比不含束缚水时易于流动; ② 因为气水之间界面张力很高, 一般在 70 mN/m 左右, 油水之间界面张力为 25~35 mN/m, 而凝析油气之间的界面张力一般为 0~1 mN/m。由此可见, 当岩心中含水后, 由于岩心是水湿岩心, 水铺展在颗粒上, 水的存在会极大地阻碍凝析油气的流动, 使得凝析油比不含束缚水时难以流动。这也就是水锁效应。所以在含束缚水条件下, 凝析油的流动能力是增大还是降低取决于该两者之间的权重以及岩石的分选和粒度、孔隙度等性质。对于不同的凝析气流体, 气水之间存在不同的界面张力, 导致不同的毛管力, 在小孔喉处不同的抑制气体流动的能力。实验结果得出, 水锁效应大大降低了含束缚水时凝析油采收率, 天然气的采收率基本不受影响。

由图 1、2 可看出, 多孔介质中凝析油采收率比 PVT 中高, 天然气采收率和 PVT 中差别不大, 多孔介质中采出气油比均比 CVD 测试中要低。PVT 仪 CVD 过程中气油比在露点压力以上基本不变, 低于露点压力以后呈现单调上升的态势。长岩心衰竭中, 气油比并不是单调上升而是有一定起伏, 这说明在多孔介质中的凝析油并不是完全连续流动。速度对凝析油采收率的影响非常明显, 随着速度的增加, 凝析油采收率提高, 天然气的采收率基本不随速度的变化而变化。说明在开发动态的预测模型中应考虑凝析油气渗流过程中的速敏性。

两种流体在多孔介质中进行衰竭时凝析油采收率比 PVT 中大得多的主要原因是长岩心中凝析油达到一定饱和度时会流动, 实验 4~6 测得的临界流动饱和度差值见表 2, 关于临界流动饱和度测试方法见文献[4~5], 关键就在于相渗曲线的差别, 因为真实相渗是平衡凝油与平衡凝析气相渗流, 而常规相渗则是描述氮气—煤油间的渗流, 其界面张力差别很大, 在本次实验中平衡油气界面张力为 0.093 mN/m, 而常规氮气与煤油间的界面张力为 30 mN/m, 其差别是很大的, 而界面张力会对油气相渗曲线产生重大影响^[6], 采用对应于实验 5 的流体及岩心进行了两种相渗曲线测试如图 3, 其主要区别在于临界凝析油流动饱和度比常规相渗低得多, 同时油气相渗均比常规的要高, 这是采收率高的主要原因。从图中还可看出, 相渗曲线有明显的速敏性。

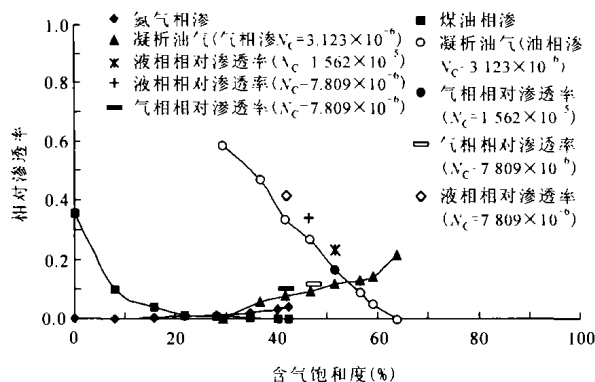


图3 相渗曲线特征对比图

三、衰竭实验的模拟研究

为了论证多孔介质中凝析气衰竭式开发凝析油采收率比 PVT 筒中测试高得多的原因,采用这两种相渗曲线和数值模拟软件,对长岩心实验进行直接预测(不调相渗),得到的采收率结果见图 4,从图中可看出,采用常规油气相渗预测的结果与 PVT 筒测试的凝析油采收率很接近,而多孔介质中采用平衡油气的相渗曲线预测的凝析油采收率与其实验结果误差较小,说明多孔介质中凝析油采收率高是相渗曲线差别造成的。有关这两种相渗曲线对开发动态的影响见文献[7]。

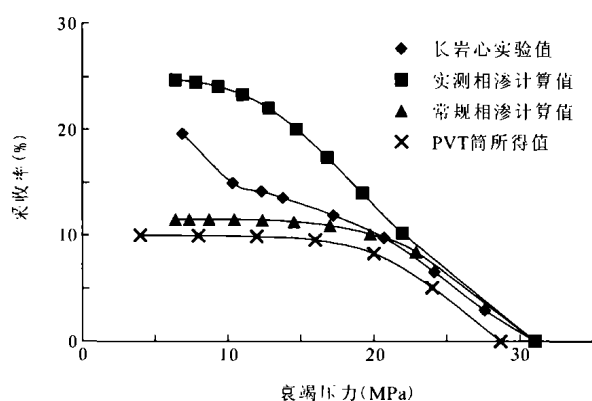


图4 长岩心中衰竭实验预测

由以上的比较分析可见,真实长岩心中凝析气的衰竭动态不同于 PVT 筒中的动态,所以在进行凝析气藏的相关实验研究时,单进行 PVT 测试是不够的,尤其是凝析油采收率是不可靠的,特别对高含凝析油体系。但对凝析油在地层中不会流动的体系可能会与 PVT 筒中较接近,由于近井地带凝析油的堆积和运移机理目前还不清楚,有待于进一步研究。在实际气田应用中,应采用地层岩心进行实际的动

态物理模拟实验研究以获取更具代表性的实验数据来作为开发决策依据。

四、结 论

(1)对富含凝析油型的凝析气藏多孔介质中衰竭开采时,凝析油采收率比常规 PVT 测试中高,天然气采收率差别不大,生产油气比也比 PVT 筒中低。

(2)速度对凝析油采收率的影响非常明显,随着衰竭速度的增加,凝析油采收率提高,但对天然气采收率影响不明显。

(3)开发中衰竭速度是可以人为控制的开发条件,所以在开发动态的预测模型中应考虑凝析油气渗流过程中的速敏性,对它进行优选有利于提高凝析油采收率。

(4)造成多孔介质中凝析油采收率高的主要原因是常规相渗曲线不能代表真实条件,因为界面张力差别太大,在开发中应当使用平衡油气测试的真实相渗曲线来进行测试。

(5)由于目前实验技术的检验数量有限,研究规律还有待于进一步研究证实。

参 考 文 献

- 1 张茂林. 多孔介质中界面现象对凝析气藏开发动态的影响. 中国科学技术大学, 博士论文, 2000
- 2 Gokhan Coskuner. Microvisual study of multiphase gas condensate flow in porous media. Transport in Porous Media, 1997; 28: 1—18
- 3 Danesh A, Krinis D. Visual investigation of retrograde phenomena and gas condensate flow in porous media. Department of Petroleum Engineering, Heriot-watt University, Edinburgh, EH14, 4AS
- 4 郭平, 杨金海等. 超声波在凝析油临界流动饱和度测试中的应用. 天然气工业, 2001; 21(3): 22~25
- 5 Guo Ping, Yang Jinhai, Li Shilun, Sun Liangtian, Jiang Tongwen. Experimentation investigation of critical flow condensate saturation. SPE 68697, 2001; (4): 17—19
- 6 苏畅, 郭平等. 凝析油气微观流动及相渗规律研究. 天然气工业, 2002; 22(4): 61~64
- 7 Su Chang, Guo Ping *et al.* The different condensate gas recovery using gas oil permeability and gas condensate permeability curve. SPE 80519, 2003; (9): 9—11

(收稿日期 2004-07-09 编辑 韩晓渝)