

高温高压下泡沫稳定性和 PV 性能的研究^{*}

胡世强¹ 刘建仪¹ 王新裕² 魏民² 白浩²

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学 2.中国石油塔西南勘探开发公司柯克亚作业区)

胡世强等.高温高压下泡沫稳定性和 PV 性能的研究.天然气工业,2007,27(6):106-108.

摘要 对泡沫排水剂的评价主要是泡沫的静态性能和动态性能的常规评价。针对泡沫在排水采气施工过程中处于高温高压的实际情况,故对泡沫排水剂进行高温高压下的泡沫性能研究具有重大的实用意义。国内外对泡沫性能测试主要采用 RossMile 法和泡沫动态实验进行泡沫性能测试,由于仪器的限制,这些实验主要在常压下进行泡沫性能测试,而且在高温下(小于 100 °C)也仅是测其简单的起泡性能。为此,利用精密的高温高压地层流体分析仪,采用油田的地层水和起泡剂 LH 混合产生泡沫,进行了泡沫 PV 关系以及温度压力对泡沫稳定性的实验研究,更准确地得出泡沫排水剂的实用温度及其压力,这在一定程度上弥补了泡沫高温高压性能研究的空白,对泡沫排水剂的优选具有指导意义。

关键词 温度 压力 发泡剂 稳定性 实验室试验 研究

一、引言

泡沫流体因具有静液柱压力低、滤失量小、携砂性能好、助排能力强及对地层伤害小等特征,广泛用于低压、漏失及水敏性地层的钻井、完井、修井和油气井增产措施(如泡沫排水采气、负压冲砂等)中^[1-3]。在国外石油工业中,泡沫流体的应用已有三十多年的历史了,现已成为油气田开发中的一个重要发展方向^[4,5]。

由于泡沫在石油工业中广泛的应用,因此,研究泡沫的相态、高温高压的性能等已成为泡沫应用的瓶颈技术^[6]。近年来,我国石油工业在泡沫流体应用技术方面已积累了一些经验,周静、万里平等^[2]对泡沫流体稳定性机理进行了研究;耿宏章等^[7]研究了泡沫流体黏度与温度压力的关系;邱正松等^[8]进行了泡沫高温高压密度特性模拟实验研究。但在泡沫流体研究方面还不成熟,对于泡沫的高温高压稳定性研究较少。

在大量的现场实践中,如泡沫排水采气^[9]、气举和球塞气举泡沫复合排水、泡沫驱油等,泡沫流体总是处于一定的压力和温度下,而且泡沫的稳定性对现场实验非常重要,因此研究泡沫在高温高压下的稳定性和不同压力下泡沫体积的大小非常关键。

笔者利用先进的设备,从实验出发,研究了高温高压下泡沫的稳定性能和压力与体积变化关系。

二、测试方法及实验原理

1. 实验测试方法

压力温度对泡沫稳定性影响的实验在加拿大 DBR 公司研制和生产的 JEFRI 全观测窗无汞高温高压地层流体分析仪中完成的,该装置带有 150 mL 整体可视室,温度范围在 -30~200 °C,测试精度为 0.1 °C,压力范围在 0.1~70 MPa,测试精度为 0.01 MPa,PVT 筒中安装有一个磁力搅拌器便于产生泡沫。PVT 筒中还安装有一个与底部紧配合的锥体柱塞,这使可视的 PVT 筒内壁与活塞之间形成一个很小的环形容积空间。在实验中很少的泡沫量,也能通过激光测高仪准确测试出来,从而可以精确的测定泡沫体积随着时间的变化关系,确保实验的准确性。

在 400 mL 地层水中加入起泡剂 LH 共计 1 mL,将配制好溶液放至中间容器,然后通过中间容器转入 PVT 筒中,在不同的温度和压力下,搅拌器搅拌 1 min 产生泡沫,以研究泡沫的 PV(压力与体积)关系、泡沫在一定温度和压力下的稳定性,以及泡沫的恒压升温特性等特点。

^{*} 本文为国家自然科学基金项目“新型球塞气举采油及排水采气技术应用基础研究”(编号:50374057)部分内容。

作者简介:胡世强,1978年生,助理工程师,硕士研究生;现从事泡沫排水采气、泡沫驱油、注气提高采收率、流体相态、采油采气工艺等方面的研究。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:13980578817。E-mail:hushiq@163.com

2. 实验仪器及材料

实验仪器为加拿大 DBR 公司的 JEFRI 全观测窗无汞高温高压地层流体分析仪、配样器、管线。材料为起泡剂 LH、油田地层水。

三、实验结果分析

1. 高温、高压泡沫 PV 关系

利用 DBR 公司的高温高压地层流体分析仪测得温度为 38 °C、66.6 °C、80 °C、100 °C 下泡沫压力与泡沫体积的关系, PV 关系见图 1-a。从图 1-a 可以得出以下认识。

(1) 随着压力的增加, 泡沫不断受到压缩, 泡沫体积变小。当压力小于 15 MPa, 泡沫体积随着压力的增加, 泡沫体积急剧减小, 压缩性好; 当压力大于 15 MPa, 泡沫体积随着压力的增加, 泡沫体积几乎不变, 泡沫表现出微可压缩状态。

(2) 在不同温度下, 泡沫的变化趋势基本一致。泡沫在低压下易于压缩, 高压下难以压缩的特性, 泡沫具有与气体相似的 PV 性质。

在 100 °C、31.03 MPa 下产生泡沫, 先降压测试, 然后升压测试, 每测试的一个压力点, 必须等待压力稳定之后才进行测试。测试结果见图 1-b。

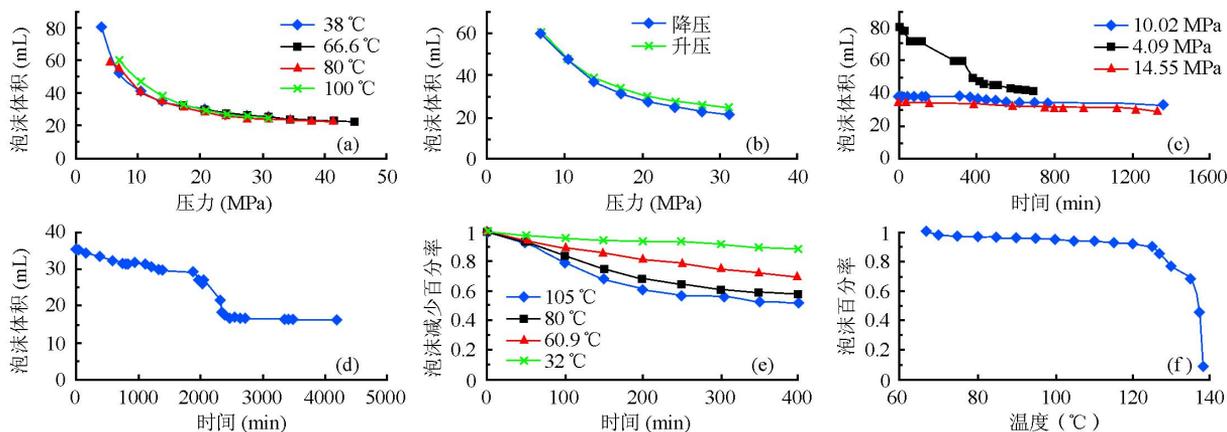


图 1 泡沫 PV 关系和稳定性分析图

在高温、高压下产生泡沫, 先对泡沫进行降压然后升压, 可以得出: 随着压力的降低, 泡沫体积不断变大, 泡沫越易压缩; 升压过程中, 压力越高, 泡沫越不易压缩, 在整个降压和升压过程中, PV 关系曲线基本一致, 体积的随着压力的变化是一个连续的过程。

2. 高温、高压泡沫稳定性影响

(1) 压力泡沫稳定性影响

通过高温高压地层流体分析仪测得在 32 °C (10.02 MPa)、38 °C (4.09 MPa)、42 °C (14.55 MPa) 三种条件下测得不同时间下的泡沫体积, 进行泡沫稳定性评价 (见图 1-c)。从图 1-c 可以得出以下认识。

1) 随着时间的增加, 泡沫体积不断减小。低压下泡沫体积减小速度较快, 高压下泡沫体积随时间减小速度较慢。压力为 4.09 MPa 时, 100 min 的泡沫体积减小 11.5%; 压力为 10.02 MPa 时, 100 min 的泡沫体积减小 2%; 压力为 14.55 MPa 时, 100 min 的泡沫体积减小 1.9%。

2) 从图 1-c 可以明显看出: 泡沫随着压力的增

加, 泡沫的稳定性大大增加。

在 42 °C (14.55 MPa) 条件下测得不同时间下的泡沫体积, 进行泡沫稳定性评价, 其实验结果见图 1-d。

从图 1-d 可以得出: 高压泡沫稳定性虽然较好, 但是存在一个时间段泡沫体积下降较快的趋势。在 42 °C (14.55 MPa) 条件下, 当时间小于 2000 min 时, 泡沫随时间变化较小, 稳定性好; 在 2000 min 时出现泡沫下降较快的趋势, 之后泡沫又出现平缓下降的趋势。

(2) 温度对泡沫稳定性影响

恒定压力 7.38 MPa, 分别记录温度为 32 °C、60.9 °C、80 °C、105 °C 时泡沫的体积随着时间的变化情况, 笔者定义泡沫减少百分率 = 当前条件下泡沫体积 / 初始泡沫体积。泡沫减少百分率与时间的关系见图 1-e。从图 1-e 可以得出以下认识。

1) 在不同温度下, 随着时间的增加, 泡沫体积不断减小。温度越高, 泡沫的稳定性越差, 在 200 min 时, 32 °C 泡沫体积减少 7.6%, 60.9 °C 泡沫体积减少 19.4%, 80 °C 泡沫体积减少 32.8%, 100 °C 泡沫体积

减少 38.8%。

2)在 200 min 之前,泡沫体积随着时间的变化较大,在 200 min 之后,泡沫体积随着时间的变化较小;80 °C 和 100 °C 泡沫的稳定性差别不大。

(3)恒压升温泡沫稳定性分析

恒定压力在 18.62 MPa、66.8 °C 下,产生泡沫,恒定该压力,进行升温,观察泡沫体积的变化规律,实验结果见图 1-f。

从图 1-f 可以得出以下认识。

1)恒定压力下,随着温度的升高,泡沫体积不断减小,80 °C 泡沫体积减少 3.7%,100 °C 泡沫体积减少 5.3%,120 °C 泡沫体积减少 8.5%,130 °C 泡沫体积减少 23.5%,138 °C 泡沫体积减少 91.2%。

2)当温度低于 125 °C 时,泡沫体积稳定性好,在 125 °C 时,泡沫减小 10.8%,当温度高于 125 °C 后,泡沫稳定性很差,130 °C 泡沫体积减少 23.5%,135 °C 泡沫体积减少 32.6%,138 °C 泡沫体积减少 91.2%。

四、结论与认识

(1)低压下泡沫易于压缩,高压下泡沫难以压缩,泡沫压缩特性具有与气体相似特点。

(2)在一定温度下,随着时间的增加,泡沫体积不断减小。泡沫随着压力的增加,泡沫的稳定性大大增加。压力为 4.09 MPa 时,在 100 min 的泡沫体积减小 11.5%;压力为 10.02 MPa 时,在 100 min 的泡沫体积减小 2%;压力为 14.55 MPa 时,在 100 min 的泡沫体积减小 1.9%。

(3)通过低温高压泡沫稳定性实验得出:高压泡沫稳定性虽然较好,但是存在一个时间段泡沫体积下降较快的趋势。在 42 °C (14.55 MPa) 条件下,当时间小于 2000 min 时,泡沫随时间变化较小,稳定性好;在 2000 min 时出现泡沫下降较快的趋势,之后泡沫又出现平缓下降的趋势。

(4)温度越高,泡沫的稳定性越差,在 200 min 时,32 °C 泡沫体积减少 7.6%,60.9 °C 泡沫体积减少 19.4%,80 °C 泡沫体积减少 32.8%,100 °C 泡沫体积减少 38.8%。

(5)通过恒定压力升温度实验得出:泡沫体积不断减小,80 °C 泡沫体积减少 3.7%,100 °C 泡沫体积减少 5.3%,120 °C 泡沫体积减少 8.5%,130 °C 泡沫体积减少 23.5%,138 °C 泡沫体积减少 91.2%。

(6)由于本实验仪器 PVT 筒的容积较小,存在一定的缺陷,但是对泡沫的高温高压性能研究不会产生很大影响。

参 考 文 献

- [1] 胡世强,刘建仪,李艳,等.一种新型高效泡排剂 LH 的泡沫性能研究[J].天然气工业,2007,27(1):102-104.
- [2] 周静,谭永生.稳定泡沫流体的机理研究[J].钻采工艺,1999,22(6):75-81.
- [3] 万里平,孟英峰,赵晓东.泡沫流体稳定性机理研究[J].新疆石油学院学报,2003,15(1):70-73.
- [4] 赵晓东.泡沫稳定性综述[J].钻井液与完井液,1992,1(9):7-14.
- [5] 周凤山.钻井液用泡沫剂性能评价方法[J].钻井液与完井液,1990,3(7):1-5.
- [6] ALVAREZ J M, RIVAS H J. Unified model for steady-state foam behavior at high and low foam qualities [J]. SPE 56825,1999.
- [7] 耿宏章,蒋莉,任旭明.泡沫钻井液粘度与温度压力关系特性研究[J].钻井液与完井液,2004,4(21):18-20.
- [8] 邱正松,张锐,徐加放,等.泡沫钻井液高温高压密度特性模拟实验研究[J].石油钻探技术,2002,1(30):4-6.
- [9] 蒋泽银,唐永帆,石晓松,等.中 21 井泡沫排水技术研究及效果评价[J].天然气工业,2006,26(7):97-99.

(修改回稿日期 2007-03-29 编辑 韩晓渝)