

应用报告

应用报告编号: AR290
行业: 三次采油(EOR)
作者: Martina Szabries (TU Bergakademie Freiberg)
Svenja Sergelius, Arne Kordts, Marlitt Jönsson (KRÜSS)
日期: 06/2019
方法: 
关键词: 三次采油 (EOR), 表面活性剂, 高压, 泡沫, 泡沫稳定性, 起泡性, 泡沫结构, 压力依赖性



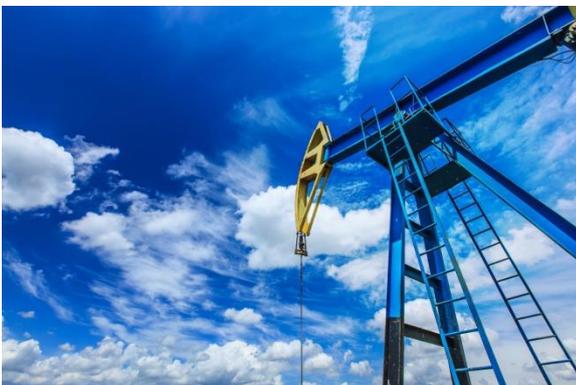
High Pressure Foam Analyzer – HPFA

三次采油中，高压下的泡沫稳定性和泡沫结构分析

高达 35Mpa 下的泡沫分析

泡沫性质如起泡性、泡沫稳定性、结构和尺寸分布取决于表面活性剂的类型，浓度，盐含量，添加剂，温度等。当泡沫用于三次采油的时候，储层中存在的压力，会导致完全不同的起泡性和稳定性。到目前为止，由于缺乏可用的测量技术，这一重要参数的研究还较为有限。

现在有了 KRÜSS 的高压泡沫分析仪—HPFA，可以分析高达 35 MPa 和 120°C 的液体泡沫的起泡性，泡沫稳定性和结构，尺寸等。在此次研究中，我们使用 HPFA 仪器测试了一定压力条件下的泡沫起泡行为，重点是泡沫高度和结构的测量，以及泡沫高度和气泡大小随时间的变化。同时分析了气体种类，如氮气 (N₂) 和二氧化碳 (CO₂) 对泡沫行为的影响。



背景

为了在三次采油中使用泡沫分析，水性表面活性剂溶液中的气泡分散必须长时间保持稳定，并能抵御矿床中存在的极端条件，如高盐度、温度和压力。在孔隙空间中的多相流动之前，要调查包括与岩石基质的所有相互作用，应该知道流体相(散装泡沫)的行为。依赖于所使用的表面活性剂系统、压力、温度、各种添加剂以及与盐和原油的相互作用。

实验

所使用的分析仪器

由于以前关于泡沫结构和泡沫稳定性的研究工作只能在大气压力下进行，因此无法确定决定性参数压力的影响，因

此，高压泡沫分析仪 – HPFA 被开发为用于在升高压 ($p_{max} = 35 \text{ MPa}$) 和温度 ($T_{max} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$) 下对液体泡沫进行科学调查的仪器。

核心是一个高压长孔观察池，其中气体通过底部筛板鼓入含表面活性剂的溶液中。在测量之前或测量期间，可借助于连接的微滴定系统，将添加剂和/或原油从下方注入表面活性剂水溶液或从上方滴入泡沫上。(见 Fig.1)

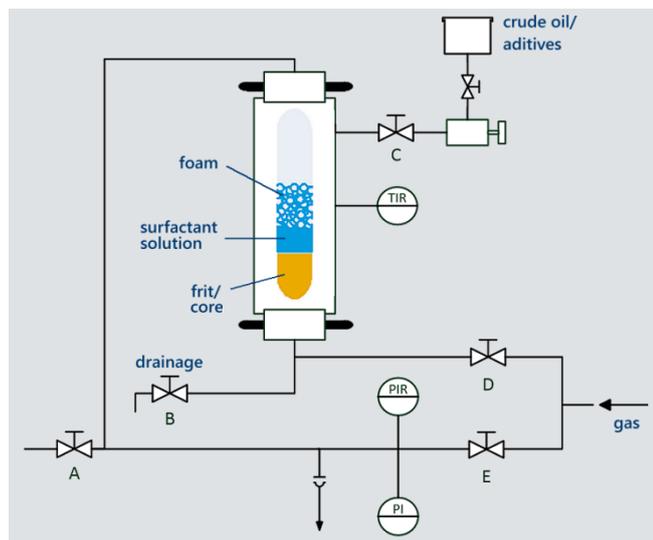


Fig. 1: HPFA 原理图

高压腔体中气体压力的产生由附加的泵完成。(HP4790)。通过一排 LED 灯透射测量液体及泡沫的高度，利用棱镜和成像系统实时记录泡沫从产生到消失的结构和尺寸变化。(见 Fig.2 和 3)

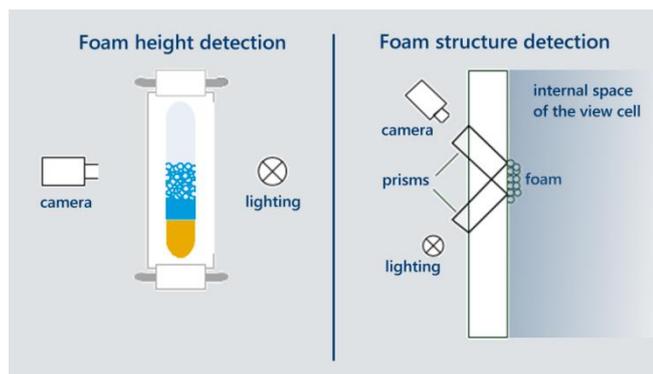


Fig. 2: 泡沫高度和结构测量原理图

使用 Advance 软件，连续记录泡沫高度和泡沫结构。实时观察泡沫结构和大小，并通过下图可视化直方图来记录。

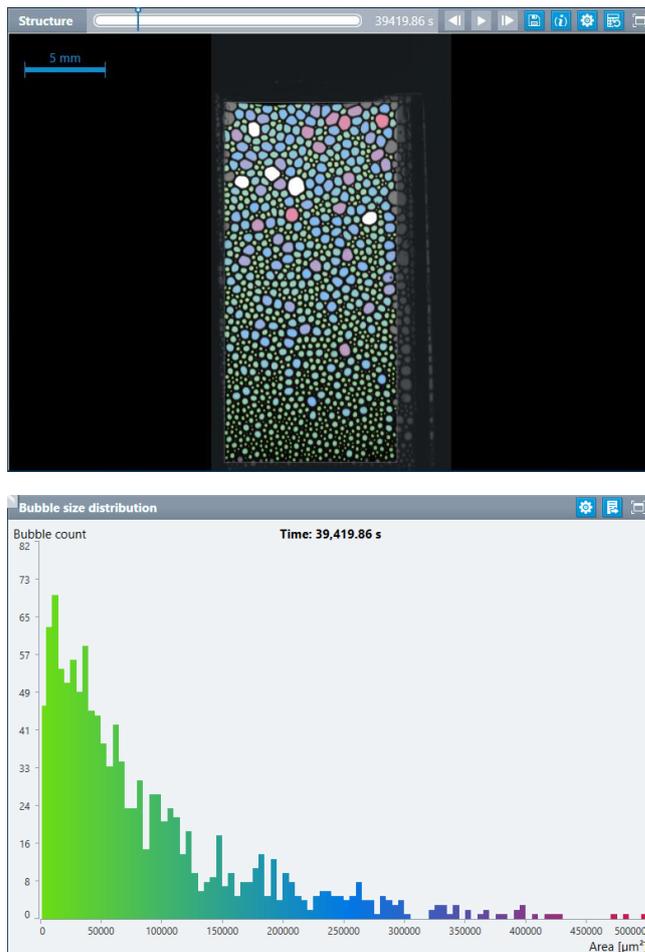


Fig. 3: Advance 软件中，二维泡沫结构和气泡尺寸的评估

每个测量时间点也能得到平均气泡尺寸和尺寸分布的数据。

样品检查和测量条件

离子表面活性剂水溶液中泡沫的稳定性和结构已被研究。用 50mL/min 的流速，100mL 的气体经过孔隙度 G2 (孔径为 16 至 40µm) 的过滤筛板对表面活性剂样品进行起泡。氮 (N₂) 和二氧化碳 (CO₂)，45°C，15 Mpa，在长达 18 小时时间内监测泡沫高度和泡沫结构的变化，特别是平均气泡大小。

实验条件见 Table 1

Table 1: 实验条件

温度	45 °C
表面活性剂	
表面活性剂浓度	2 g/L in demin. H ₂ O
通入气体体积	100 mL*
起泡期气体流速	50 mL/min
过滤板孔隙度	G2 (16 to 40 μm)
使用气体	N ₂ , CO ₂

结果

泡沫稳定性与压力

在阴离子表面活性剂溶液中，鼓入氮气，观察不同压力下的起泡性和泡沫稳定性。可以看到稳定性随着压力的增加而增加，稳定性最显著的增加是在低压范围内（见 Fig. 4）。在 18 小时的观察期间，在压力增大的情况下，没有完全分解，因此可以说是极其稳定的泡沫。

关于平均气泡大小，压力较低时差异也比较明显。例如，在大气压力下产生泡沫的初始平均气泡大小与在 5-15Mpa 的较高压力下产生的初始平均气泡尺寸有很大不同。

平均气泡大小在各压力下会随着时间增大，但这种效应随着压力的增加而降低，在 15 MPa 时几乎不明显，这里的气泡大小非常恒定，这也表示泡沫的稳定性很高。

分散（气体）相和周围（液体）相的密度和粘度对泡沫稳定性起着作用。随着压力的增加，氮气和水相的密度和粘度都增加，使得泡沫在压力增加时变得稳定。表面活性剂分子的迁移率随着压力的增加而增加，增强了 Marangoni 对流（其导致液体从具有较低表面张力的区域流动到具有较高表面张力的区域），使泡沫液膜稳定。

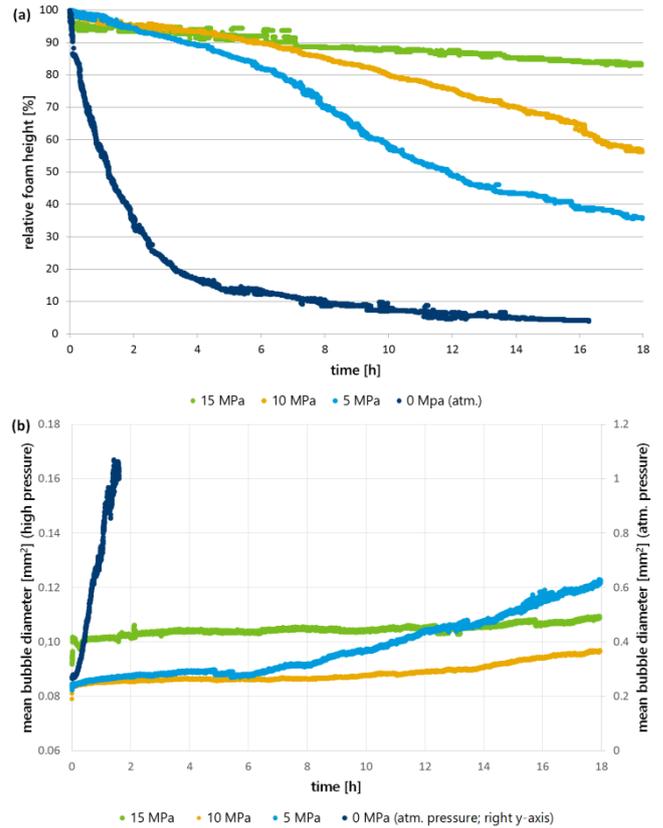


Fig. 4: 不同压力 (N₂) 下与时间相关的相对泡沫高度 (a) 和平均气泡大小 (b)

泡沫稳定性和气体种类

泡沫的稳定性和泡沫寿命内平均气泡尺寸的发展取决于各种物理参数，其中一些参数高度依赖压力。这些特别包括泡沫中存在的两相之间的界面张力、密度和粘度，这些会随着物质转移和相互之间的溶解度而发生变化。

由于 CO₂ 与 N₂ 在高达 35 MPa 的整个压力范围内的有机物特性基本不同，因此分别由 N₂ 和 CO₂ 形成的泡沫是完全不同的。Fig.5 比较了在 5MPa 压力下分别由 N₂ 和 CO₂ 形成的泡沫的不同之处。其他的测试条件，比如气体体积、表面活性剂类型和浓度是一致的。（见 Table 1）

CO₂ 泡沫的相对泡沫高度比 N₂ 泡沫下降的速度明显加快，2 小时后已经低于 10%（见 Fig. 5a），CO₂ 泡沫分解速度更快，因此比 N₂ 泡沫更不稳定。

初始平均气泡大小是可比的，因此仅具有压力特异性，而不是特定于气体。随着时间的推移，CO₂ 泡沫的平均气泡大小比 N₂ 泡沫样品的气泡大小增长快得多（见 Fig. 5b）。使用 N₂ 时，半衰期约为 12 小时，使用 CO₂ 时仅约 50 分钟。

决定性因素可能是二氧化碳和表面活性剂水溶液的互溶性增加，特别是在压力增加的情况下 CO₂ 在泡沫液膜中的扩散加快，加速奥斯特瓦尔德熟化过程，泡沫的气泡尺寸增大，泡沫稳定性降低。

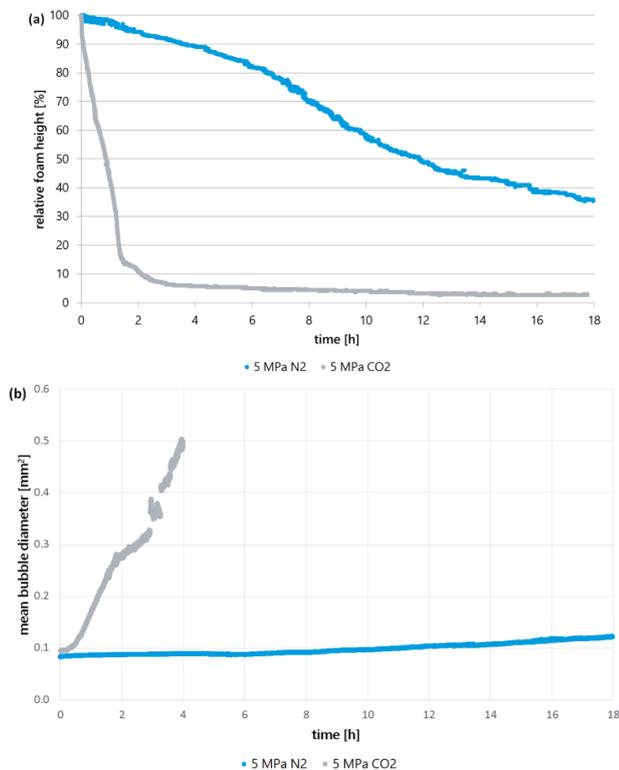


Fig. 5: 相关的泡沫高度 (a) 和平均气泡是大小 (b) 随时间变化 (N₂ and CO₂)

由于泡沫是非常复杂的系统，可重复性是一个重大挑战。相同测试条件下的测量之间的偏差会随着测量持续时间的增加而增加。Fig. 6 显示了在 15 MPa 压力下在相同条件下进行两次测量，结果很容易重现。

18 小时后两个测量值的偏差为相对泡沫高度的 9%和中等气泡大小的 1%。

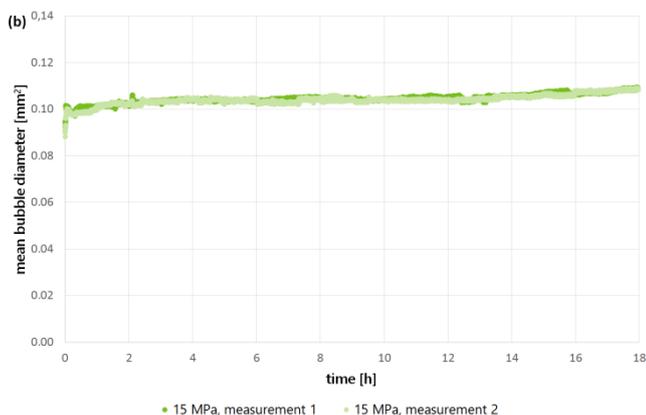


Fig. 6: 重复评估相对泡沫高度 (a) 和平均气泡大小 (b) (N₂ 作用下) 随时间变化

总结

首次使用高压泡沫分析仪对高压泡沫进行分析，压力增加对泡沫性能的影响很大。起稳定作用的表面活性剂水溶液中 N₂ 泡沫的相对泡沫高度和平均气泡大小在高压下比在较低压力下更恒定。泡沫稳定性随压力的增加而增加，这可以通过高压下增加的 Marangoni 对流来解释。

与 N₂ 和 CO₂ 形成的泡沫的比较显示了气体类型的影响以及相关的压力、相关材料特性对泡沫参数的影响。CO₂ 泡沫比 N₂ 泡沫更不稳定，CO₂ 和样品的相互溶解性可以解释。

通过重复测量，泡沫高度分析具有良好的重复性，平均气泡直径的重复精度也非常出色。

压力增加对泡沫稳定性有相当大的影响，同时也跟气体的类型有很大的关系。现在有了 KRÜSS 的高压泡沫分析仪—HPFA，可以提供多种选项，能在三次采油和水力压裂泡沫辅助喷射法实际工艺条件下研究泡沫行为。

文献

M. Szabries, P Jaeger, Moh' d M. Amro: Foam Analysis at Elevated Pressures for Enhanced Oil Recovery Applications. Energy Fuels 2019,33, 5, 3743-3752

<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b03088>

P. Jaeger, M. Szabries, S. Bäßler, M. Jönsson, T. Schörck , A. Kordts: Foams at Elevated Pressure in EOR. An Innovative Method to Analyze Foam Stability and Structure. IBP1026 18, Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018

您可以从以下链接找到更多您感兴趣的应用报告

<https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/literature/application-reports/>