

Solubility of CO₂ in Crude Oil and High Salinity Formation Water System

Ruiming Zhao¹, Xiaoyu Zhang¹, Na Wang¹, Dan Wang¹, Maolei Cui²

¹Research Institute of Exploration and Production, Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi Xinjiang

²Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing

Email: zhaorm2008@163.com

Received: May 22nd, 2017; accepted: Jun. 14th, 2018; published: Aug. 15th, 2018

Abstract

The dissolution and distribution of CO₂-crude oil was a key parameter in the evaluation of CO₂ flooding in a strong and bottom water reservoir with deep and high salinity. The solubility of CO₂ in the presence of high salinity formation water, crude oil and unsaturated oil-water system was tested at 115°C and 49.5 MPa by using a self-developed high temperature and high pressure CO₂ solubility measurement device. The experimental results show that the formation water dissolved CO₂ gas amount is 28.6 m³/m³, and the ability of CO₂ to dissolve the compound crude oil is about 150 m³/m³. Under the condition of the oil/water volume ratio of 1:1, the partition coefficient of the injected CO₂ in the oil and water is about 10.1.

Keywords

CO₂ Solubility, High Temperature and High Pressure, High Salinity

CO₂在原油及高矿化度地层水体系中的溶解试验

赵瑞明¹, 张晓宇¹, 王娜¹, 王丹¹, 崔茂蕾²

¹中石化西北油田分公司勘探开发研究院, 新疆 乌鲁木齐

²中石化石油勘探开发研究院, 北京

作者简介: 赵瑞明(1984-), 男, 工程师, 主要从事油气田开发与采收率试验工作。

Email: zhaorm2008@163.com

收稿日期: 2017年5月22日; 录用日期: 2018年6月14日; 发布日期: 2018年8月15日

摘要

在开展深层高矿化度下强边底水油藏CO₂驱油评价时, CO₂原油溶解分配是一个关键参数。利用自行研制的高温、高压CO₂溶解度测定装置, 在115℃、49.5 Pa条件下测试CO₂在高矿化度地层水、原油以及非饱和油水共存状态下的溶解度。试验结果表明: 地层水溶解CO₂气体量为28.6 m³/m³, 复配原油溶CO₂能力为150 m³/m³, 在油水体积比1:1条件下, 注入的CO₂在油水中的分配系数为10.1。

关键词

CO₂溶解度, 高温、高压, 高矿化度

Copyright © 2018 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

塔河油田某区油藏为强边底水油藏, 油藏温度为115℃, 压力49.5 MPa, 地层水矿化度215 g/L, 具有底水强度大, 油藏温度、压力高, 地层水矿化度高的特点。在开展油藏注CO₂驱油过程中, 需充分考虑底水的影响, 掌握CO₂在原油-地层水体系中的溶解分配情况[1][2][3]。笔者利用自行研制的高温、高压CO₂溶解度测定装置, 开展了高温、高压条件下CO₂在原油和高矿化度地层水两相中的分配情况, 为后续注CO₂提高采收率工作提供了技术支撑。

2. 试验装置及样品

2.1. 试验装置

该试验装置主要承担流体复配、气液分离计量和温度压力控制等操作, 包括的主要试验设备有高温、高活塞搅拌容器, 高压驱替泵, 气液分离(干燥)装置, 气量计, 回压阀和电子天平等[4][5]。试验流程图如图1所示。试验装置设计组装完成后, 进行气量和液量标定, 通过重复测试, 计量误差控制在5%以内, 满足试验要求。

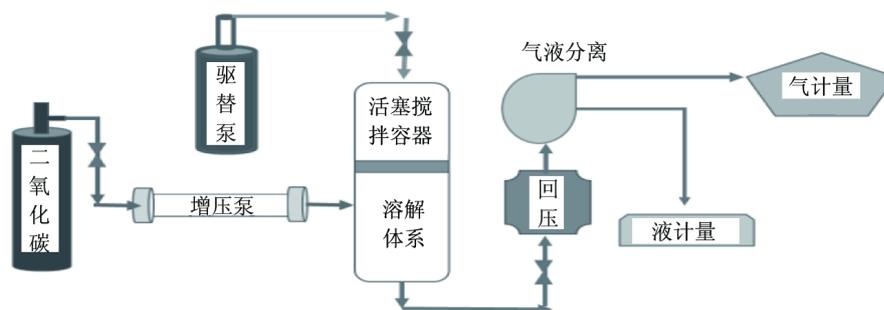


Figure 1. The schematic diagram of experimental device
图 1. 试验装置示意图

2.2. 试验样品

试验所用的 CO_2 纯度为 99.99%。试验所用的水样是从井矿场取得的同油藏地层水，使用前过滤机械杂质。试验所用水样的离子分析结果如表 1 所示。试验所用原油为复配原油，原油和天然气均取自同油藏。复配原油与原油藏对比结果如表 2 所示。复配原油满足试验要求。

Table 1. The analysis of formation water used in experiments

表 1. 试验用地层水分析表

层位	密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	pH 值	总矿化度/($10^4 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	离子质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)					
				Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Γ	Ca^{2+}	Mg^{2+}
三叠系	1.15	5.476	21.6949	130,130	200	174.79	6	11,195.5	1151.48

Table 2. The analysis of compound crude oil

表 2. 复配原油分析表

流体样品	试验压力/MPa	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	气油比/($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$)	体积系数/1	20 $^{\circ}\text{C}$ 脱气油密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	地层压力下黏度/($\text{mPa}\cdot\text{s}$)
油藏 PVT	49.5	120	135	1.294	0.9167	3.04
配制样品	49.5	120	125	1.250	0.9220	3.32

3. 试验方法

3.1. 复配原油的气油比

利用设计试验装置测定试验温度条件下的气油比。

3.2. 地层水的 CO_2 溶解度

利用设计的试验装置配制试验温度、压力下的含过饱和 CO_2 的水溶液，温度、压力稳定后，由底部排出饱和 CO_2 的地层水，计量注入量、产液量和产气量。试验步骤如下：

- 1) 将一定量的地层水样转入高温、高压活塞搅拌容器中，用增压 CO_2 并转入活塞搅拌容器中，并将温度升至试验所需的温度。
- 2) 搅拌溶解，调整活塞容器压力至试验温度压力条件，且保证地层水溶解 CO_2 达到饱和。
- 3) 利用回压阀控制试验压力，用驱替泵将配样器中的饱和地层水排出，经过气液分离装置，分别计量排出水的体积与相应气体体积，每 10 min 记录一次。

3.3. 等比例复配原油和地层水 CO₂ 溶解度试验

- 1) 复配后原油饱和过量 CO₂，进行气液比测定。
- 2) 再注入与剩余液体等体积的地层水，充分接触，测定该阶段地层水中 CO₂ 溶解量，进而得到地层水从等体积(等体积是指脱气原油体积与加入地层水体积相同)饱和 CO₂ 复配原油中获取 CO₂ 的量。
- 3) 计算公式为：

$$K_{\text{CO}_2} = (C_{\text{CO}_2\text{-oil-CH}_4} - C_{\text{oil-CH}_4} - C_{\text{CO}_2\text{-water}}) / C_{\text{CO}_2\text{-water}}$$

式中： K_{CO_2} 为 CO₂ 在饱和 CO₂ 原油加入等体积地层水(脱气原油体积)体系中的分配系数，1； $C_{\text{CO}_2\text{-oil-CH}_4}$ 为饱和 CO₂ 复配原油的气液比，mL/mL； $C_{\text{oil-CH}_4}$ 为复配原油气液比，mL/mL； $C_{\text{CO}_2\text{-water}}$ 为饱和 CO₂ 原油加入等体积地层水(脱气原油体积)充分溶解交换后的 CO₂ 溶解度，mL/mL。

4. 试验结果与分析

依托自行设计的试验装置，进行 115℃、49.5 MPa 条件下的地层水和原油 CO₂ 溶解度试验。为保证数据准确，每组试验均进行 2~3 次重复性测量。

4.1. 地层水溶解度

试验过程中，待气液比稳定后开始计量，间隔计量时间为 10 min，该阶段累计产液 120.5 mL，累计产气 3449 mL，平均气液比 28.6 mL/mL，即在 115℃、49.5 MPa 条件下 21.3 g/L 矿化度地层水 CO₂ 溶解度折算到标准状况下为 28.6 m³/m³。累计产液量-气液比分布曲线如图 2 所示。

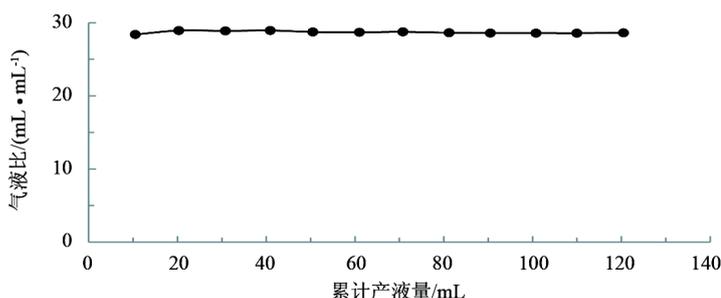


Figure 2. The distribution curve of cumulative liquid production-gas-liquid ratio
图 2. 累计产液量-气液比分布曲线

4.2. 等比例复配原油和地层水 CO₂ 溶解度试验

试验过程包含原油复配及检测、CO₂ 溶解及检测、地层水-饱和 CO₂ 复配原油体系中 CO₂ 溶解分配及地层水 CO₂ 溶解度检测共 3 个部分。

- 1) 复配原油样品气油比测试。在 110℃、50 MPa 条件下配制原油样品，搅拌至稳定后测得的溶解气油比在 120~130 m³/m³ 之间，平均为 125 m³/m³。
- 2) 测定饱和 CO₂ 复配油中的气油比。混合液体经过搅拌至稳定后进行汽油比测定，间隔 5 min 记录一次产液量和产气量，平均气油比(CO₂ + 天然气)为 275 mL/mL (图 3)，因此 CO₂ 在复配原油中的溶解量为 150 mL/mL。
- 3) 测定 CO₂ 在复配油-地层水体系中的溶解度。按照油水比为 1:1，将地层水注入到饱和 CO₂ 的复配原油(此处原油体积为脱气原油体积)中，搅拌至稳定后测得 CO₂ 在水中的溶解率平均在 14.8 mL/mL。原油和地层水体系下地层水中 CO₂ 溶解率见表 3。

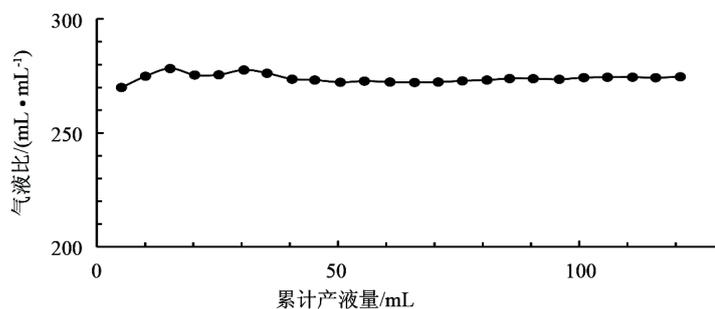


Figure 3. The relationship curve of gas-oil ratio of compound crude oil with saturated CO₂
图 3. 饱和 CO₂ 的复配原油气油比关系曲线

Table 3. The CO₂ solubility in crude oil and formation water system
表 3. 原油和地层水体系下地层水中 CO₂ 溶解率

累计产液量/mL	累计气液比(mL·mL ⁻¹)	累计产液量/mL	累计气液比(mL·mL ⁻¹)	累计产液量/mL	累计气液比(mL·mL ⁻¹)
5.0	12.5	25.5	14.3	45.2	14.7
10.2	14.2	30.6	14.5	51.0	14.6
15.3	14.3	35.3	14.5	55.9	14.8
20.3	14.5	41.0	14.6	61.2	14.8

5. 结论

1) 通过自行研制的高温高压二氧化碳测定装置可以较好地完成 CO₂ 在地层水溶解度试验和 CO₂ 在油水复配体系中的溶解度试验。

2) 115℃、49.5 MPa 条件下的地层水溶解 CO₂ 气体量折算成室温条件为 28.6 m³/m³。

3) 115℃、49.5 MPa 条件下，复配原油溶解 CO₂ 能力为 150 m³/m³ ($V(\text{脱气原油}) : V(\text{CO}_2)$)，随着地层水的注入，饱和 CO₂ 的原油中有 10.1% 体积的 CO₂ 将从油相进入水相。换言之，在油水体积比为 1:1 的条件下，注入的 CO₂ 在油水中的分配系数为 10.1。

参考文献

- [1] 侯大力, 罗平亚, 王长权, 等. 高温高压下 CO₂ 在水中溶解度实验及理论模型[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(2): 564-572.
- [2] 汤勇, 杜志敏, 孙雷, 等. CO₂ 在地层水中溶解对驱油过程的影响[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 311-314.
- [3] 李振泉. 油藏条件下溶解 CO₂ 的稀油相特性实验研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(3): 43-48.
- [4] 李兆敏, 陶磊, 张凯, 等. CO₂ 在超稠油中的溶解特性实验[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(5): 92-96.
- [5] 胡丽莎, 常春, 于青春. 鄂尔多斯盆地山西组地下咸水 CO₂ 溶解能力[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012, 37(2): 301-306.

[编辑] 龚丹

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2471-7185，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org