

特低渗透油藏注二氧化碳驱提高采收率室内研究

李光前 (中国石油集团长城钻探工程有限公司工程技术研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘要: 本文针对鄂尔多斯盆地 AS-2 油田特低渗储层渗透率低, 非均质性强, 单纯注水开发采收率低的问题, 开展了二氧化碳驱室内实验研究。测试了最小混相压力, 采用实际岩心, 对不同注入压力、注入体积、注入速度对驱油效率的影响进行了室内试验和分析。研究表明, 二氧化碳驱的最终驱油效率与注入压力、体积、速度均呈正相关关系, 最小混相压力是影响最终驱油效果的重要因素。研究成果不仅为 AS-S 油田开展二氧化碳驱提供了理论指导, 也为同类型油藏开展二氧化碳驱矿产实验提供了技术借鉴。

关键词: 二氧化碳; 特低渗储层; 驱油效率; 鄂尔多斯盆地

AS-2 油田区域构造位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡中部, 全区构造平缓, 倾角 $< 1^\circ$, 发育小规模鼻状隆起构造, 目的层段为三叠系延长组长 6 油层组。长 6 油层组为该区主力产油层, 深度为 1100–1500m, 地层厚度稳定, 属于三角洲前缘沉积亚相。储层岩石以长石砂岩为主, 碎屑成分一般占到 10%–24% 之间, 孔隙度平均 10.4%, 渗透率平均 0.62mD, 属典型的低孔特低渗油藏。透率变化范围较为广泛、非均质性强, 由于储层非均质性以及特低渗储层特征天然能量不足的特点, 自然产能极低, 几乎不存在一次采油产出的可能, 必须依靠压裂, 才能见产。而压裂完成后, 注水开发又极易形成水窜、水淹, 影响后期开发效果。加之研究区地处黄土高原区域, 地表水资源较为匮乏, 因此, 为提高特低渗储层采收率, 需要针对地面条件和油层特征, 开展多样化的提高采收率技术适应性评价和探索。

CO₂ 驱作为一种低渗透油藏提高采油采收率的方法, 已经在国内外得到广泛应用。但是不同的油藏地质条件开采效果差别非常大, 特别是不同地质条件下油藏因素和注气因素不同, 这会对 CO₂ 驱的效果产生较为明显的影响。因此, 本文针对 AS-2 油田长 6 储层, 运用岩心驱替实验的手段, 对不同注入压力、速度、体积对 CO₂ 驱油的有效性进行了对比分析, 评价了为 CO₂ 驱油的有效性, 并为现场作业提供了理论指引。

1 实验器具和方法

1.1 实验仪器

本实验装置大致分为驱替系统、岩心夹持系统、恒温系统三个主要部分。主要的实验设备仪器有: 平流泵、流体储存器、恒温箱、流量计、夹持器、回压阀、计量装置等。实验岩心选择来自 AS-2 油田长 6 主力油层的天然岩心, 取心深度范围为 1450–1500m, 实验 CO₂ 纯度为 99.99%。

1.2 实验方案

实验前, 对选取的天然岩心样品进行筛选、分类和编号。首先, 用石油醚和苯对岩心进行深度清洗操作, 然后在 5–6MPa、60℃ 条件下, 连续清洗 3 天。清洗完成后将岩心置于恒温箱内进行烘干。清洗结束后, 对岩心样品进行物性参数分析等测试, 测试结束后, 进行烘

干操作。然后根据产出水资料, 在室内模拟地层水, 再使实验岩心充分浸润并饱和模拟地层水。驱替时, 将油样以 0.03L/min 的速度进行驱替直至岩心不出水, 状态稳定后记录水量。测试过程, 通过改变驱替压力、驱替速度、注入体积 (PV), 以岩心不出油为结束标志, 记录不同情况下的驱油数据。结束后, 对实验数据进行对比分析。

1.3 最小混相压力

本次实验在模拟地层条件下, 改变注入压力, 从 4MPa 开始每次增加 4MPa 直至 24MPa 的 6 次 CO₂ 细管实验的驱油效果, 通过实验分析与计算, 得出研究区块的最小混相压力值为 16.5MPa, 当驱替压力等于 16.5MPa 时, 驱油效率和驱替压力的曲线走向发生较大变化, 计算得此时驱油效率约可达 92.14%。

2 CO₂ 驱驱油效率及影因素分析

2.1 注入压力对驱油效率的影响

将不同 PV 条件下注入压力与驱油效率实验数据进行汇总与对比, 得到 1PV–4PV 多组注入体积条件的压力与驱油效率的关系如图 1 所示:

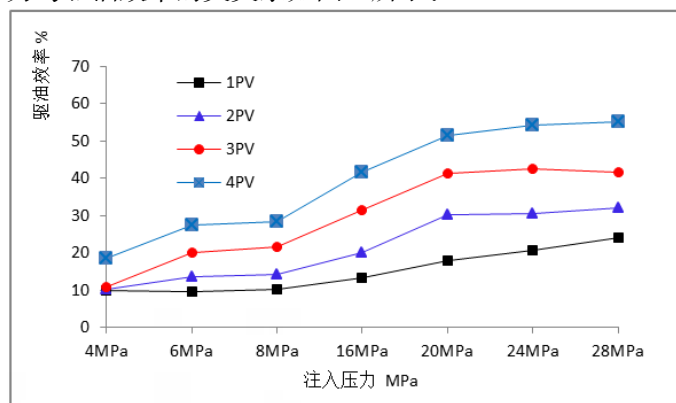


图 1 不同 PV 下驱油效率与压力的关系图线

由上图可知, 在上述 4 组注入体积 (PV) 条件下, 注入压力与驱油效率关系总体呈现基本统一的变化特征。驱油效率的大小随着压力的增加, 可以出现不同程度的增加, 注入曲线的斜率的变化都是先大后小, 表现为驱油效率的增速在前期较快, 后期增速变缓。根据区块最小混相压力 16.5MPa 的特征分析, 可以将实验数据划分为三个不同阶段。

首先,在注入压力较小,即 $< 16.5\text{MPa}$ 时,注入压力较小,此时的驱油效率曲线上升趋势比较明显,在第一阶段末的驱油效率已达到最高驱油效率的一半以上,说明实验初期改变压力对驱油效率的增长效果比较显著。我们分析认为,这可能是因为驱替过程中,由于初期的注入压力比较小,所以原油与二氧化碳处于非混相状态,注入压力转化为了驱油的动力,进而推动原油在岩心内流动,所以总体的驱油效率还是比较低。也比较符合非混相驱条件下驱油效率的递增规律。随着压力的不断增加, CO_2 在推动原油驱替时,与地层和流体的接触面积不断增大,气、油两相边界可能出现轻微的互溶作用,另外,地层水也与 CO_2 发生反应,形成酸性混合物以及碳酸氢盐,可以起到稳定黏土矿物,减少水敏伤害,并改善储层渗透率,从而提高驱替效率。

其次,注入压力在 $8\text{--}20\text{MPa}$,也就是 16.5MPa 左右时,随着注入压力的增大,原油与 CO_2 出现规模更大,结合更高的分子运动。此时,两种流体充分接触,原油的界面张力逐渐减小,气液分界面变得越来越模糊,因而形成相过渡带,此时的曲线斜率最大,驱油效率的增速最快。

注入压力达到 20MPa 以后,随着压力继续增大,两相混合程度不断加深,混合两相状态的过渡带面积越来越大,尤其当岩心压力满足混相驱条件时,最终从两相状态变为混相,驱油效率高,并维持在一个较为平稳的状态。

2.2 注入体积对 CO_2 驱的影响

根据图1的实验数据,将注入体积(PV)与 CO_2 驱油效率数据进行对比,可以得到不同注入压力下注入体积(PV)与驱油效率之间的关系,如图2所示。可以明显看出驱油效率随着随注入体积的增大而提高。但是不同注入压力下,曲线的斜率不同。这说明注入体积的大小与驱油效率的增长幅度会出现阶段性的变化。

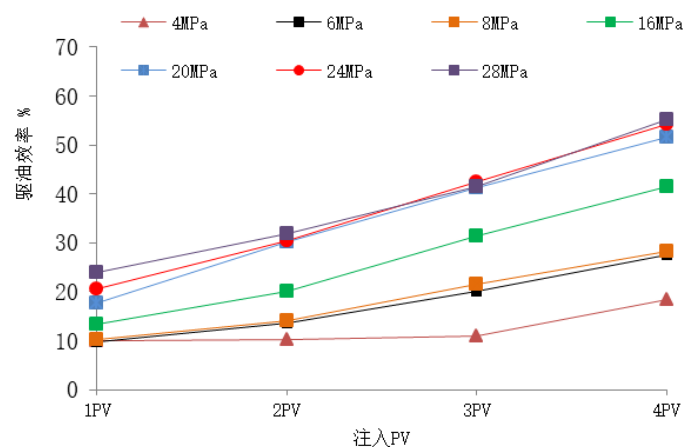


图2 不同驱替压力下累计驱油效率与PV关系曲线

从图2可以分析得出,当注入体积较小时,驱油效率的增长也比较小,曲线斜率基本接近。后期随着注入体积的不断增大,各个压力下的驱油效率均有明显的提高。整体而言,注入压力越高,后期驱油效率也越高。

但是,注入压力 $> 20\text{MPa}$ 后,注入体积与驱油效率的变化基本接近,所以过高的注入压力,即使注入体积不断增大,不一定取得理想的驱油效率。

2.3 注入速度对 CO_2 驱油效率的影响

固定驱替压力为 15MPa ,然后调整 $0.1\text{--}0.8\text{L/min}$ 不同注入速度的 CO_2 驱油数据,得到固定压力下注入速度与驱油效率的关系如3所示:

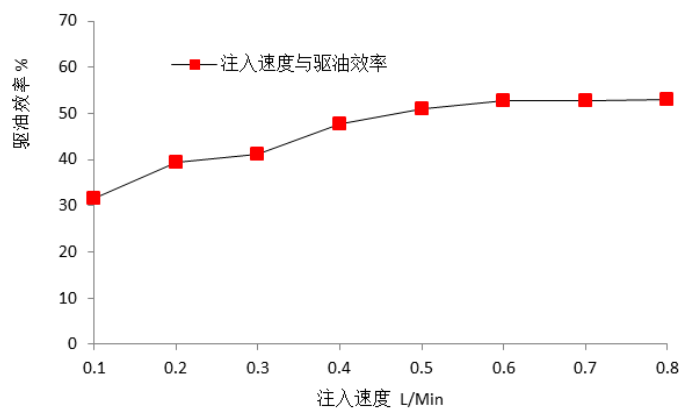


图3 固定驱油压力下注入速度与驱油效率的关系

从上图可知,注入速度与驱替效率基本成正相关的关系。但是注入速度增大到一等程度后,随着的注入速度的提高并不能带来驱油效率的大幅度增加,在 $0.3\text{--}0.5\text{L/min}$ 的中等注入速度情况,注入速度与驱油效率的线性关系较好,对应的驱油效率增长了近11%左右,斜率较大,驱油效率曲线的增幅最大。从矿场应用的角度来看,较大的注入速度对于驱油技术和装备的要求更高,所以中高速的驱替,更加有利于现场实施,也可以取得较好的经济效益。

3 结论

① CO_2 驱油效率受多个因素影响。注入压力、注入体积及注入速度的变化都会不同程度影响最终驱油效率。总体来说,三者变化与驱替效率的变化规律都呈正相关,注入压力对驱油效率的变化最为敏感;②由于驱替压力影响,混相状态对 CO_2 驱效率影响最大,保持其他注入参数不变的条件下,驱油规律呈现混相、近混相、非混相三个状态;③单纯通过室内岩心驱替效率的影响分析, CO_2 驱应用于AS-2油田是可行的。非混相驱的方式可以作为提高驱油效率有效措施。注入速度 $0.3\text{--}0.5\text{L/min}$ 可以达到较好的驱油效率。

参考文献:

- [1] 汤翔,李宜强,韩雪,周永炳,战剑飞,徐苗苗,周锐,崔凯,陈小龙,王雷.致密油二氧化碳吞吐动态特征及影响因素[J].石油勘探与开发,2021,48(04):817-824.
- [2] 吴刚,张静伟,贾庆,郑润芬,邹积荀.大庆油田二氧化碳驱采出系统缓蚀剂研制与应用[J].油气田地面工程,2021,40(05):1-5.

作者简介:

李光前(1979-),男,河北乐亭人,大学本科,工程师,目前从事采油技术研究。