

石油技术

包 14 块低渗透油藏注 CO_2 开发效果研究

武 毅

(辽河油田分公司勘探开发研究院, 盘锦 124010)

摘要 包 14 块为不均匀型低渗、特低渗透层, 采用注水开发含水上升快, 而且水敏现象严重。通过室内实验, 研究了包 14 块进行 CO_2 驱可行性。实验结果表明: 地层条件下, CO_2 与包 14 块地层油的最小混相压力为 21.4 MPa, 高于地层压力。 CO_2 混相驱(23.5 MPa)和非混相驱(12.5 MPa)最终采收率分别为 82.39% 和 73.78%, 混相驱比非混相驱 CO_2 突破时间少 0.125 PV; 注气量大于 0.3 PV 后, 混相驱的换油率明显高于非混相驱; 注气压力越大, CO_2 注入能力越强。可见, 尽管在地层条件下, CO_2 与地层油不能达到混相, 进行 CO_2 非混相驱仍可取得非常好的效果。

关键词 包 14 块 CO_2 驱 最小混相压力 采收率 换油率

中图法分类号 TE357.45; **文献标志码** A

包 14 块为断鼻构造, 是被断层遮挡形成的圈闭。储层物性具有中孔隙度、低渗透率, 储层内非均质性强、泥质含量高等特点, 属中孔微细喉道不均匀型低渗、特低渗透层, 储层的平均孔隙度为 17%, 平均渗透率为 $34 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。包 14 块原始地层压力 12.3 MPa, 地层温度 36.7 °C。原油性质较好, 属稀油, 地面原油密度 0.8715 g/cm^3 , 黏度 $21.66 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 凝固点 27 °C。地层水总矿化度 6 056 mg/L, 为 NaHCO_3 型。

该区块开发初期采用天然能量开发, 开发 2 年后采用注水开发, 注水 14 个月后日产液 417.3 t, 日产油 80.1 t, 综合含水 80.8%, 阶段采出程度 8.61%。可见, 采用注水开发含水上升快, 而且由于黏土膨胀、注水能力随注水量增加而变差。针对该区块油藏特点, 开展了 CO_2 驱室内实验, 探讨了注 CO_2 开发的可行性。

1 CO_2 -地层油最小混相压力测定

根据地层油的原始高压物性参数, 利用包 14 块脱气原油和天然气配制模拟油, 模拟油高压物性参数如表 1 所示。

表 1 地层油高压物性参数

油样参数	原始	模拟油
温度/°C	36.7	36.7
地层压力/MPa	12.3	12.3
油气比/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	34	31.95
体积系数	1.108	1.1017
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0.806	0.8109
饱和压力/MPa	4.5	4.8
黏度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	5.43	5.58

利用配制模拟油在 36.7 °C 下, 采用细管法测定 CO_2 -地层油最小混相压力^[1]。图 1 为不同 CO_2 注入压力与 CO_2 注入 1.2 PV(孔隙体积)时累积采收率的关系曲线。从测定结果可见, 随着 CO_2 注入压力的增加, CO_2 注入 1.2 PV 时累积采收率增加。累积采收率为 90% 时对应的压力为 21.4 MPa, 此压力

2011 年 4 月 25 日收到

作者简介: 武毅(1969—), 上海人, 高级工程师, 研究方向: 油气田开发。

为包14块地层油与CO₂的最小混相压力^[2]。

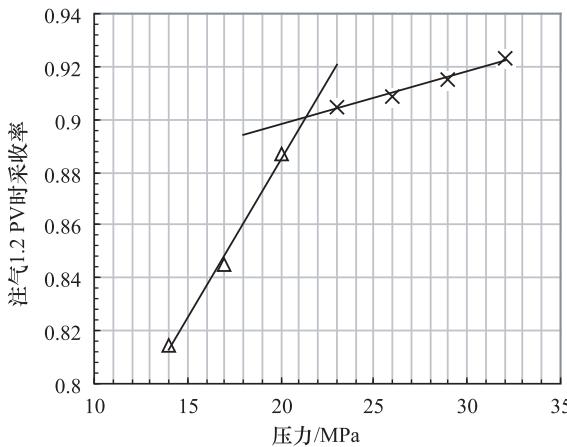


图1 CO₂驱压力与采收率曲线

2 CO₂驱油实验

2.1 实验条件

模拟油及温度与最小混相压力实验相同。

岩样由4块渗透率相近的天然岩心连接而成^[3]，渗透率 $35.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，孔隙度16.81%，长度28.39 cm，直径2.50 cm。

2.2 实验仪器及过程

仪器包括气体流量计、岩心夹持器、油气分离器、计量泵、中间容器、微量泵、气瓶、恒温箱、压力表及气体流量控制器等。

将天然岩心抽提、烘干，测定孔、渗；将饱和水的岩心注入模拟油，使模拟油饱和；将气体压力调整到驱替压力后，进行恒压气驱油实验（驱替压差为1.0 MPa），直至驱替到没有油流出为止。

2.3 CO₂驱效果分析

(1) 从图2可见，随着注气量增加，CO₂驱采收率增加，CO₂突破后，CO₂驱采收率增加的幅度明显减缓。同样条件下，混相驱(23.5 MPa)、非混相驱(12.5 MPa)的最终采收率分别为82.39%和73.78%，混相驱比非混相驱高8.61%。可见尽管包14块地层油与CO₂的最小混相压力高于地层压力，但在地层压力下进行CO₂非混相驱仍然可取得非常好的效果。注入压力越高，地层油中溶解的

CO₂越多，原油黏度、油气间的毛管力越低，最终采收率越高^[4]。

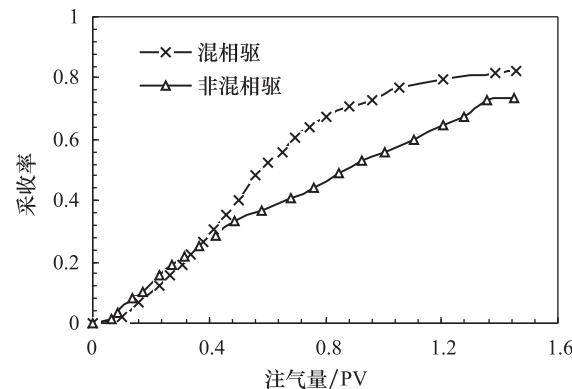


图2 CO₂驱采收率曲线

(2) 从图3可见，随着注气量增加，生产气油比稳定在原始溶解油气比。混相驱注气量达到0.805 2 PV、非混相驱达到0.680 2 PV后，CO₂突破，此时混相驱和非混相驱采收率分别为67.64%、40.58%，生产气油比急剧增加。CO₂突破后，混相驱的生产气油比高于非混相驱。

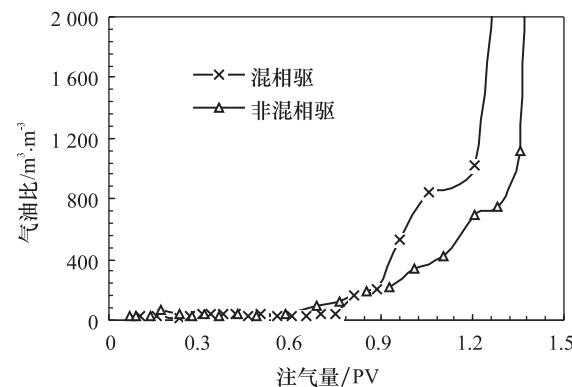


图3 CO₂驱生产气油比曲线

(3) 从图4可见，CO₂换油率随注气量增加而增加，见气后，换油率基本保持不变，CO₂突破后，换油率降低。当注气量小于0.3 PV时，非混相驱的换油率高于混相驱，说明注气开始阶段，非混相驱的效果好于混相驱，这从图2采收率曲线可证实。当注气量大于0.3 PV后，混相驱的换油率明显高于非混相驱，CO₂突破前，混相和非混相驱的平均换油率分别为0.887 6 m³/t和0.627 3 m³/t，总的换油率分

别为 $0.5507 \text{ m}^3/\text{t}$ 和 $0.5373 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

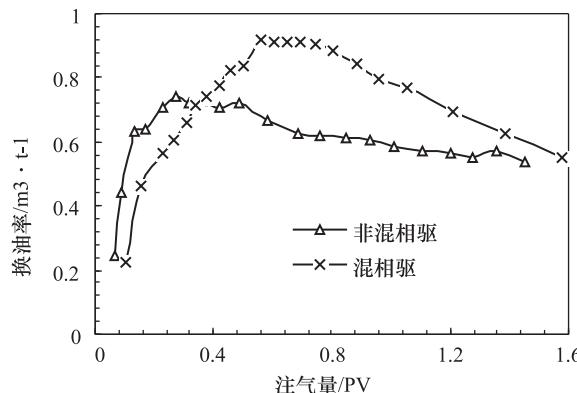


图 4 CO_2 驱换油率曲线

(4) 从图 5 可见,随着注气量增加,注气能力(单位时间单位压差下注气量)降低,注气量达到0.1 PV后,注气量增加,注入能力增加。这是由于注入的 CO_2 为液态,刚注入时,进入岩心的 CO_2 气化,吸收热量,温度降低,地层油的黏度增加,注入能力下降,注入一段时间后,岩心及管线中的 CO_2 达到地层温度,以及地层油中溶解 CO_2 ,原油黏度降低,注入能力增加, CO_2 注入量越多,原油中溶解的 CO_2 越多,黏度下降幅度越大。

注气压力越大, CO_2 注入能力越强,即混相驱的注入能力比非混相驱的高。 CO_2 突破前,混相驱和非混相驱的注入能力分别为 $0.06379 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{MPa})$ 和 $0.02860 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{MPa})$,最后平均注入能力分别为 $0.08434 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{MPa})$ 和 $0.04682 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{MPa})$ 。

CO_2 注入能力主要取决于黏滞力和毛管力,黏滞力和毛管力越大, CO_2 注入能力越小。压力越大,油中溶解的气体越多,原油黏度越小,同时气体与原油的界面张力越小,黏滞力和毛管力越小, CO_2 注入能力越大。

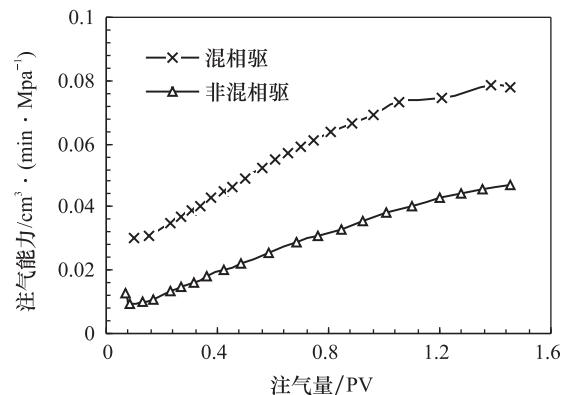


图 5 CO_2 驱注气能力曲线

3 结 论

(1) 地层条件下,利用细管法测定了 CO_2 与包14块地层油的最小混相压力为21.4 MPa,地层油与 CO_2 的最小混相压力高于地层压力。

(2) 包14块 CO_2 混相驱(23.5 MPa)、非混相驱(12.5 MPa)最终采收率分别为82.39%和73.78%。在地层压力下进行 CO_2 非混相驱仍然可取得非常好的效果。

(3) 混相驱比非混相驱 CO_2 突破时间少0.125 PV;注气量小于0.3 PV时,非混相驱的换油率高于混相驱,注气量大于0.3 PV后,混相驱的换油率明显高于非混相驱。

(4) 注气压力越大, CO_2 注入能力越强,即混相驱的注入能力比非混相驱的高。

参 考 文 献

- 1 赵明国,陈顶峰.低渗透油藏提高原油采收率的实验研究.石油实验地质,2007;29(3):311—314
- 2 张硕. CO_2 细管模型驱油效果研究.特种油气藏,2010;7(2):95—97
- 3 李士伦,张正卿,冉新权,等.注气提高石油采收率技术.成都:四川科学技术出版社,2001:99—101
- 4 赵明国,孙忠新.气体性质对特低渗透油藏气驱效果的影响.特种油气藏,2007;14(4):75—77

The Development Effect of CO₂ Flooding on Low Permeability Reservoirs in Bao 14 Block

WU Yi

(Exploration & Development Research Institute, Liaohe Oilfield Ltd. , Panjin 124010, P. R. China)

[Abstract] Bao 14 block is the uneven type of low and ultra-low permeability reservoirs, water cut rises rapidly after use water injection, and water sensitivity phenomenon seriously. Through the indoor experiment in the text, the feasibility CO₂ flooding in Bao 14 block is studied. The experimental results show that in the reservoir conditions, the MMP of CO₂ and the oil in the Bao14 is 21.4 MPa, which is higher than the reservoir pressure. The ultimate recovery of miscible phase recovery of CO₂ (23.5 MPa) and the immiscible displacement (12.5 MPa) is 82.39% and 73.78%, the breakthrough time of miscible phase recovery is less than immiscible displacement 0.125 PV; The oil/gas exchange ratio of miscible phase recovery is obvious higher than immiscible displacement when gas injection volume is more than 0.3 PV. The higher injection pressure of gas, the stronger absorption capability of CO₂. It is clear that although in reservoirs conditions, CO₂ and oil can not reach miscibility. It still be very good effect through immiscible displacement of CO₂.

[Key words] Bao 14 block CO₂ flooding MMP recovery oil/gas exchange ratio

(上接第 5641 页)

Antioxidant Activity of the Flour Methanol Extracts of Different Sorghum Varieties

ZHANG Guo-tao, WANG Hua*

(Chemistry and Chemical Engineering College, Yulin College, Yulin 719000, P. R. China)

[Abstract] To evaluate antioxidant activity of the flour methanol extracts of the six different sorghum varieties, determined total phenols content, condensed tannin content, the reducing power of the flour methanol extracts of different sorghums. Then, the correlation between the antioxidant activity ingredients and antioxidant activity ability of the sorghum flour extract are analyzed. The results showed that all sorghum flour methanol extracts has the strong antioxidant activity, and it related with varieties and total polyphenol content of the sorghum flour, and no with condensed tannin content. The evidence for screening sorghum resources is provided which has oxidative antioxidant activity.

[Key words] sorghum polyphenols condensed tannin antioxidant activity