

# 胜利油田最小混相压力预测模型

张庆福, 杨 勇, 张世明, 顾辉亮, 张传宝, 李友全

中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东 东营

Email: zhangqingfu605@163.com

收稿日期: 2020年9月25日; 录用日期: 2020年11月10日; 发布日期: 2020年11月23日

## 摘 要

最小混相压力是CO<sub>2</sub>驱油方案研究中的重要参考参数。实验方法是测定最小混相压力的直接准确的方法, 但该手段所需时间较长。因此在一些情况下可以通过建立一些快速的计算模型计算最小混相压力。混相压力的经验公式的参数与原油性质及油藏条件相关, 因此借鉴目前已有的最小混相压力计算模型, 基于胜利油田的条件及原油性质, 建立了适于胜利油田的最小混相压力计算模型。该方法考虑以油藏温度、挥发组分摩尔分数、中间组分摩尔分数及重烃的相对分子质量为参数, 得出预测模型, 并计算该模型的计算误差。

## 关键词

最小混相压力, CO<sub>2</sub>驱油, 预测模型

# A Prediction Model for Minimum Miscibility Pressure of CO<sub>2</sub> and Oil in Shengli Oilfield

Qingfu Zhang, Yong Yang, Shiming Zhang, Huiliang Gu, Chuanbao Zhang, Youquan Li

Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong

Email: zhangqingfu605@163.com

Received: Sep. 25<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 10<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2020

## Abstract

Minimum Miscibility Pressure (MMP) is an important reference parameter in the design of CO<sub>2</sub> flooding scheme. The direct and accurate method to measure the minimum miscibility pressure is experimental method. But the experimental method is time costly. Therefore, the MMP could be calculated by constructing predicting model in some cases. As the parameters of predicting model depend on the oil properties, based on the existing prediction model, a prediction model for Shen-

gli Oilfield is constructed using the experimental data of oil in Shengli Oilfield. The temperature of reservoir, mole fraction of volatile component, mole fraction of middle component and relative molecular mass of heavy component are used as parameters of the prediction model. At last, the error of this model is calculated.

## Keywords

Minimum Miscibility Pressure, CO<sub>2</sub> Flooding, Prediction Model

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

CO<sub>2</sub> 驱油能够在高效采油的同时将 CO<sub>2</sub> 封存于地下，在提倡绿色发展的今天，CO<sub>2</sub> 驱油越来越受到关注。CO<sub>2</sub> 气体易注入地层，而且与原油接触后能改善流体流动，比如降低流体粘度，使流体膨胀等，随着低渗透油藏开采的日益增加，CO<sub>2</sub> 驱油技术得到了持续发展。最小混相压力(MMP)是该技术重要的参考参数。研究表明，CO<sub>2</sub> 驱油可以分为混相驱和非混相驱，当达到混相状态后，CO<sub>2</sub> 与原油之间不存在界面张力，拥有非常好的驱油效果。因此在计划采用 CO<sub>2</sub> 驱油技术时，需要知道实施区块的 MMP，以此为参考设计方案。

测定最小混相压力的方式包括实验测量、经验公式法和查图版法等[1] [2] [3] [4] [5]。实验测定法包括几种不同的方法[6]，该类方法压力直接、准确，但是耗时较长。除实验法，又发展了根据 CO<sub>2</sub> 与原油接触特性的预测方法[7]，利用神经网络技术的预测方法[8]等方法。经验公式法计算简单快捷，Yelling 以油藏温度为主要因素推导了 MMP 计算模型[9]。Alston [10]等通过研究认为，除了温度，MMP 与更多因素有关，中间组分和气体对 MMP 的影响同样重要，因此在 MMP 研究中考虑了其影响。基于 Alston 的研究，国外学者提出了使用 GA 计算模型预测此关键参数[11]。上述两种模型将 C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> 作为中间组分，Rathmell 在研究中发现，除了 C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> 可以降低 MMP，C<sub>5</sub> 和 C<sub>6</sub> 也可以起到降低 MMP 的作用[12]。陈百炼 [13]等其建立的计算模型中也将 C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> 作为中间组分，并认为考虑了中间组分和中间组分对 MMP 的影响不一样，改进了 MMP 的计算模型。经验公式包含的参数往往与原油性质有关，比如国外油田原油往往比国内原油轻，因此依据国外原油得出的经验公式在国内油田应用时，有时会有较大误差，因此，曾隽等结合苏北原油数据，拟合出适于苏北油田的 MMP 计算模型[14]，此外，还有众多专家学者对最小混相压力的计算做出了大量贡献[15] [16] [17] [18]。

## 2. 模型建立

基于目前存在的预测模型，选取油藏温度  $T_R$ ，中间组分摩尔分数  $Int$ ，挥发相摩尔分数  $Vol$  以及  $M_{C7+}^r$  作为 MMP 主要影响因素，模型认为  $Int$  和  $Vol$  对 MMP 的影响不同，因此分别赋予不同的参数。所建立的预测模型为

$$P_{mm} = a \times (1.8T_R + 32)^b \times (M_{C7+}^r)^c \times \frac{Vol^d}{Int^e} \quad (1)$$

其中， $P_{mm}$  为最小混相压力， $a$ ， $b$ ， $c$ ， $d$ ， $e$  为系数。

选取不同区块的原油进行实验，利用实验室的最小混相压力实验数据，对模型进行回归计算，得到模型为

$$P_{mm} = 2.5736 \times (1.8T_R + 32)^{0.1523} \times (M_{C7+}^r)^{0.3321} \times \frac{Vol^{0.003628}}{Int^{0.04548}} \quad (2)$$

结合预测模型的形式和回归得到的参数可以看出，中间组分含量与 MMP 为负相关，挥发组分与 MMP 为正相关。系数的不同表明不同因素对 MMP 的影响程度是有差异的，油藏条件和原油性质都影响 MMP 的大小。

### 3. 模型的应用

图 1 为使用该模型计算的 MMP 与实验室测得的 MMP 的对比，可以看出计算值基本分布于  $y = x$  附近，表现出较好的拟合。由于目前实验数据不是很丰富，因此数据较为集中。通过下式计算模型的相对误差

$$R_e = \frac{|exp_{MMP} - cal_{MMP}|}{exp_{MMP}} \times 100\% \quad (3)$$

其中  $exp_{MMP}$  表示实验测得的 MMP， $cal_{MMP}$  表示该模型计算的 MMP。表 1 给出了使用模型计算的 MMP 与实验得到的 MMMP 的相对误差，可以看出大部分情况该模型的计算精度较好，少数点计算误差较大。

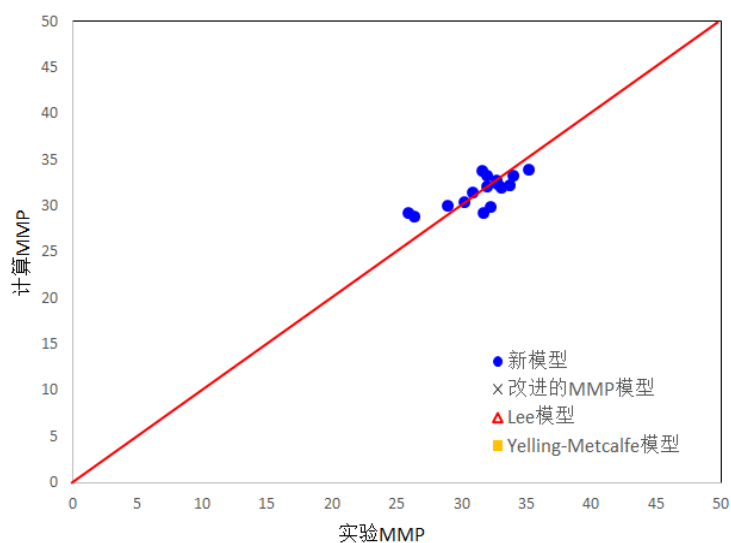


Figure 1. Curve: comparison of computed MMP with experimental MMP

图 1. 计算 MMP 与实验值对比

Table 1. Relative error of the proposed model

表 1. 模型计算相对误差

实验 MMP	33.97	32	32.7	31.99	33.77	32.78	33.1	30.25	26	35.2	26.4	31.6	32.2	31.65	30.87	28.94
计算 MMP	33.26	33.2	32.7	31.98	32.3	32.3	31.9	30.3	29.2	34.1	28.7	29.1	29.8	33.73	31.3	29.9
相对误差 %	2.09	3.75	0	0.03	4.35	1.46	3.93	0.17	12.3	3.13	8.7	7.9	7.4	6.5	1.39	3.32

为了研究模型对胜利油田原油与 CO<sub>2</sub> 最小混相压力计算的准确性, 将该模型与其他几个模型进行了对比, 如 Yelling-Metcalf 模型, Lee 模型等。图 2 展示了在此油藏条件下不同计算模型对 MMP 的计算, 图 2 表明, 各模型均可以在一定程度上起到计算 MMP 的作用, 但是新建立的模型更加适合该油田的原油性质, 计算更加准确。

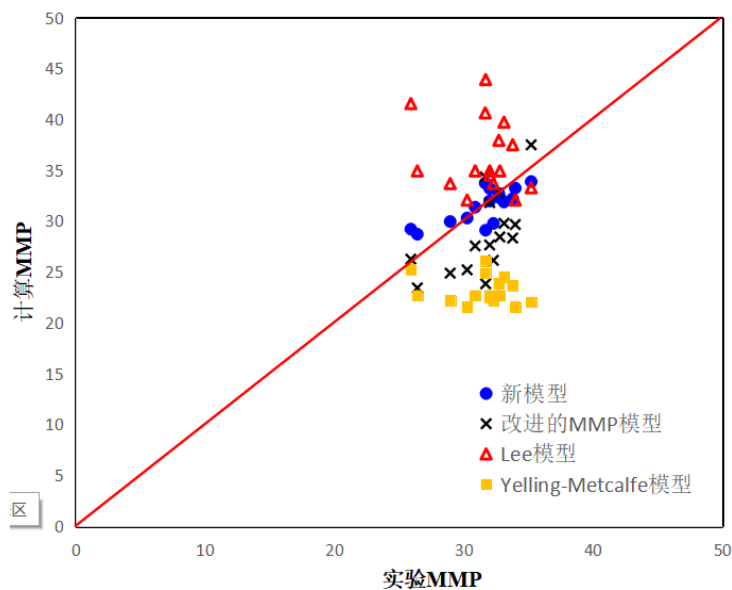


Figure 2. Curve: comparison of experimental MMP with MMP computed using different models

图 2. 不同模型计算 MMP 与实验值对比

#### 4. 结论

基于原油实验测试数据, 结合当前的 CO<sub>2</sub> 与原油最小混相压力预测公式, 建立了用于胜利油田的 CO<sub>2</sub> 与原油最小混相压力计算模型。基于实际油藏参数, 计算了不同区块的最小混相压力, 通过与实验数据对比, 验证了该模型的准确性, 并计算了模型的相对误差。最后通过与其他模型对比, 可以看出该模型对胜利油田 CO<sub>2</sub> 与原油最小混相压力的计算更加准确。

由于目前实验数据数量有限, 且混相压力数值较为集中, 没有考虑性质差别较大的其他原油数据, 因此模型不够完善, 计算仍然会存在一定误差, 随着实验的进行, 数据的丰富, 会对该模型持续完善, 从而提高精度和适应性。对于油藏及原油性质差别较大的样本, 可以回归出新的系数, 进行 MMP 预测。

#### 参考文献

- [1] Alston, R.B., Kokolis, G.P. and James, C.F. (1985) CO<sub>2</sub> Minimum Miscibility Pressure: A Correlation for Impure CO<sub>2</sub> Streams and Live Oil Systems. *SPE Journal*, **25**, 268-274. <https://doi.org/10.2118/11959-PA>
- [2] 张可, 李实, 秦积舜, 等. 溶度差法计算地层油-CO<sub>2</sub> 体系的最小混相压力[J]. 特种油气藏, 2013(1): 122-125.
- [3] Ahmadi, K. and Johns, R.T. (2011) Multiple-Mixing-Cell Method for MMP Calculations. *SPE Journal*, **16**, 733-742. <https://doi.org/10.2118/116823-PA>
- [4] 韩培慧, 姜言里. 大庆油田二氧化碳驱油最小混相压力预测[J]. 油田化学, 1989, 6(4): 309-316.
- [5] 杨学锋, 郭平, 杜志敏, 等. 细管模拟确定混相压力影响因素评价[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2004, 26(3):41-44.
- [6] 刘中春. 最小混相压力(MMP)预测方法的评价[J]. 国外油田工程, 1997(2): 10-11.

- 
- [7] 李菊, 李实. 基于多次接触特性曲线的二氧化碳驱最小混相压力预测方法[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(1): 51-54.
- [8] 李虎, 蒲春生, 吴飞鹏. 基于广义回归神经网络的 CO<sub>2</sub> 驱最小混相压力预测[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 108-111.
- [9] Yelling, W.F. and Metcalfe, R.S. (1980) Determination and Prediction of CO<sub>2</sub> Minimum Miscibility Pressures. *J Pet Technol*, **32**, 160-168. <https://doi.org/10.2118/7477-PA>
- [10] Alston, R.B., Kokolis, G.P. and James, C.F. (1985) CO<sub>2</sub> Minimum Miscibility Pressure: A Correlation for Impure CO<sub>2</sub> Streams and Live Oil Systems. *Soc Pet Eng J*, **25**, 268-274. <https://doi.org/10.2118/11959-PA>
- [11] Emera, M.K. and Sarma, H.K. (2005) Use of Genetic Algorithm to Estimate CO<sub>2</sub>-Oil Minimum Miscibility Pressure—A Key Parameter in Design of CO<sub>2</sub> Miscible Flood. *J Pet Sci Eng*, **46**, 37-52. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2004.10.001>
- [12] Rathmell, J.J., Stalkup, F.I. and Hassinger, R.C. (1971) A Laboratory Investigation of Miscible Displacement by Carbon Dioxide. *Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME*. <https://doi.org/10.2118/3483-MS>
- [13] 陈百炼, 黄海东, 章杨, 等. 改进的 CO<sub>2</sub>-原油最小混相压力计算模型[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(2): 126-130.
- [14] 曾隽, 高和群, 易明华, 等. 苏北区块最小混相压力预测[J]. 石油地质与工程, 2019, 33(4): 50-53.
- [15] 鞠斌山, 秦积舜, 李治平, 等. 二氧化碳-原油体系最小混相压力预测模型[J]. 石油学报, 2012, 33(2): 274-277.
- [16] 黄世军, 杨静宜, 王利明, 等. 二氧化碳驱最小混相压力动态预测方法[J]. 大庆石油地质与开发, 2016(4): 121-125.
- [17] 张晨朔, 范子菲, 许安著, 赵伦. 改进的混合单元格法预测最小混相压力[J]. 断块油气田, 2016(23): 606-609.
- [18] 尤启东, 吕广忠, 栾志安. 求解最小混相压力方法的改进[J]. 西安石油学院报(自然科学版), 2003, 18(2): 32-35.