

几种稠油黏度预测模型的对比分析

陈小平, 许晶禹*, 郭军, 张军

(中国科学院力学研究所, 北京 100190)

通讯作者 E-mail: xujingyu@imech.ac.cn

摘要: 在稠油的开采、管输等过程中, 动力黏度都是一个重要的参数, 目前对稠油黏度的估计往往采用稠油黏度预测公式进行。然而, 由于现有的黏度预测大多是基于区域性稠油数据的经验公式, 因此, 这些公式只对特定区域特定组分的稠油才有很高的预测精度。本文采用 Hakke RS6000 旋转流变仪对中海油采油技术服务公司和渤海油田绥中陆地处理终端的共计 3 种稠油的动力黏度进行了测量。稠油的黏度范围为: 241~5239 MPa (30℃), 测量温度范围为: 20~70℃, 测量压强为 0.1MPa。Beal1946、Glaso1980、Hossain2005 等五种黏度计算模型与本文实验数据进行了对比分析。研究表明, API 度和温度均对稠油的黏度有重要的影响。在所研究的五种模型中, Hossain 模型具有最高的预测精度, 而 Alomair 模型的预测精度最差。

关键词: 稠油; 动力黏度; 计算模型; 预测精度; API

1 引言

随着稠油、超稠油资源的不断开发, 稠油高黏度所引起的开采和输送问题急需解决, 常用的方法是稠油降黏。不论采用何种方式对稠油进行降黏减阻, 稠油黏度的确定都是保证开采和输送合理设计的前提^[1]。实际生产中, 对于 API 度很低的稠油, 其黏度的准确测量是很难实现的, 而且黏度测量也不可能覆盖所有的温度和 API 度范围。因此, 借助黏度预测公式对稠油的黏度进行预测是常用的方法。

由于稠油的组分复杂, 要想实现稠油黏度的高精度预测, 其微观性质是必须考虑的因素。然而, 将稠油组分或者是由组分决定的倾点、反常点等因素考虑在内的模型是不方便的, 因为这首先涉及到稠油微观组分的确定。基于温度和 API 度的稠油黏度预测方法则简单的多。

目前为止, 已有很多的学者对不同工况条件下的稠油黏度进行了研究, 比如: Beal1946^[2]、Glaso1980^[3]、Hossain2005^[4]、Alomair2011^[5]、Elsharkawy and Alikhan1999^[6] 等。总的来说, 几乎以上所有研究都声称获得了很高的预测精度, 然而其用于预测其他区

域稠油的准确性却不得而知。

本文采用哈克流变仪测量了国内 3 种不同区域稠油不同温度下的黏度,并分别与上述模型进行了对比分析。研究表明,上述几种模型在对本文稠油黏度的预测方面均表现出一定的误差,其中 Alomair2011 模型几乎完全失去作用。在所有的模型中,Hossain2005 具有最高的精度,可以进一步考虑将其用于国内稠油的黏度预测。

2 流变测量实验

本文所用稠油分别取自中海油采油技术服务公司和渤海油田绥中陆地处理终端。在室内采用 Hakke RS6000 旋转流变仪分别对稠油的黏度进行测量。流变仪自带的水浴温度控制系统用于控制稠油的温度。在测量开始前,设定好水浴温度,保持稠油水浴达 3min 以上以确保稠油的温度达到恒定。对于一种稠油,温度从低到高依次重复上述操作。

图 1 至图 3 分别为稠油 A~C 的黏度曲线,从图中可以看出,3 种稠油均表现出轻微的剪切稀释性,在本文的研究中,忽略这种作用认为稠油在所测量温度范围内均为牛顿流体。从图中还可以看出,对于同一种稠油,温度越高,黏度越低。比较 3 种稠油可以发现,同一温度下,A、B、C3 种稠油的黏度依次降低。

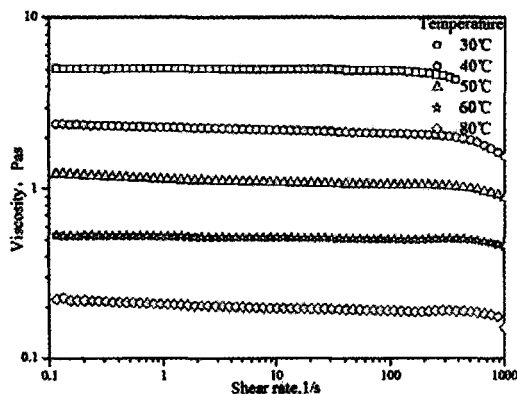


图 1 稠油 A 的流变曲线

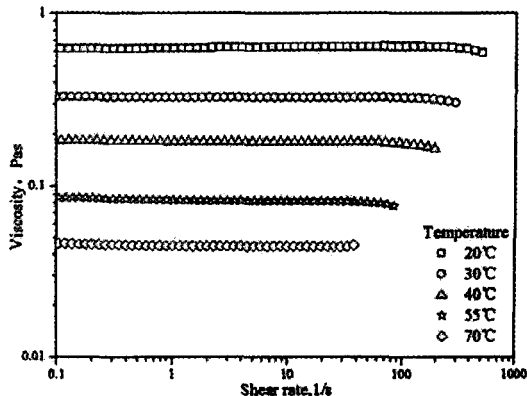


图 2 稠油 B 的流变曲线

与此同时,我们采用称重法分别测量了三种稠油不同温度下的密度,如图 4 所示。从图 4 中可以看出,3 种稠油的密度均随着温度的升高而降低,这不难理解,因为随着温度的升高,稠油的体积膨胀。还可以看出稠油的黏度越高,相应的密度也越大。这主要是因为稠油的黏度越高,其内部高碳组分的含量相应的也越多,这必然导致稠油密度变大。

从上文的分析可知,温度不是影响稠油黏度的唯一变量,因为同一温度下 3 种稠油的黏度各不相同。在此我们引入 API 度作为稠油黏度的另一个参量。本文采用多项式拟合了密度随温度的变化曲线,在此基础上求出 15.6°C 时稠油的密度,进而根据 API 度的定义(公式(1))计算了各稠油的 API 度,计算得到 A~C3 种稠油的 API 分别为 13.3、18.4、20.8。

在下文的研究中，我们忽略稠油其他的物性参数，将 API 度作为度量稠油种类的唯一参量。

$$API = \frac{141.5}{\rho_o / \rho_w} - 131.5 \quad (1)$$

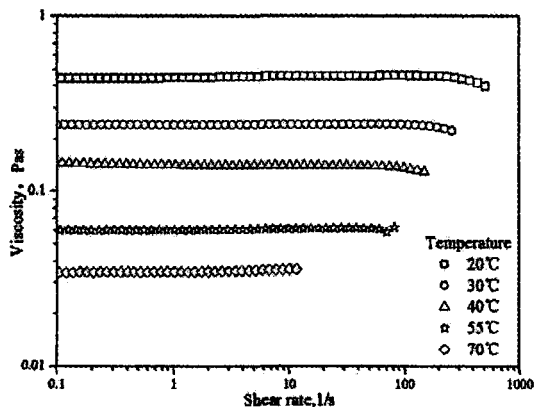


图3 稠油 C 的流变曲线

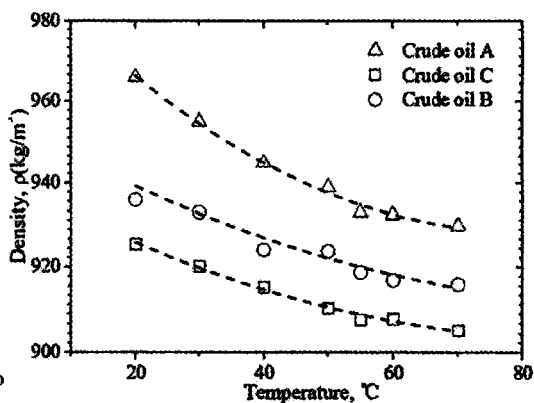


图4 三种稠油的密度-温度关系

3 结果分析

图5至图7分别为稠油A~C的黏温曲线与黏度预测模型的对比。从图中可以看出，在所有5种模型中，Hossain2005模型更接近于实测的稠油黏度，其次是Beal1946和Elsharkawy and Alikhan1999模型，而Alomair2011模型对所有3种稠油黏度的预测均失去作用，由此说明该模型是不能被用于国内稠油黏度的预测的。

综合分析图5至图7还可以发现，几乎所有的模型均过低的估计了本文稠油的黏度，这主要是由于以上5种黏度模型均基于国外油田（US、Kuwait、Middle East等）的稠油数据，不具有广泛的适用性造成的。

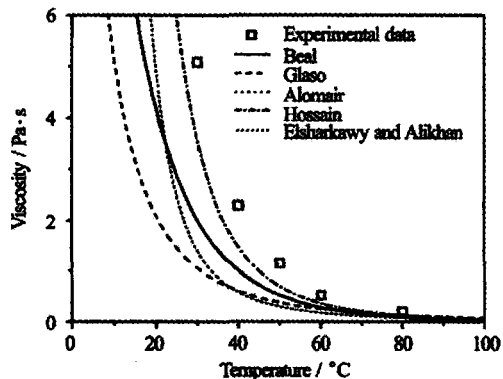


图5 稠油 A 的黏度模型对比

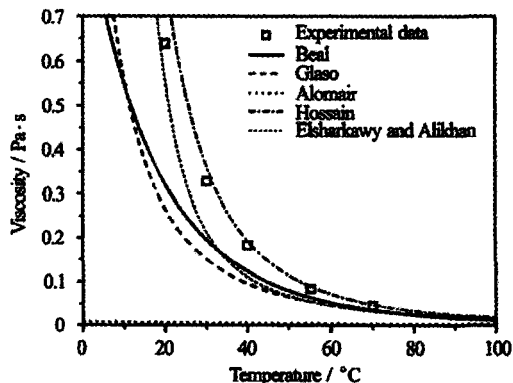


图6 稠油 B 的黏度模型对比

$$\%AAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\mu_{cal} - \mu_{exp}|}{\mu_{exp}} * 100 \quad (2)$$

在以上定性分析的基础上,我们定义了%AAD用于定量的描述各模型的预测精度,如公式(2)所示。图1-8给出了各模型预测精度的大小。从图中可以看出,Hossain2005模型具有最高的预测精度,在API=18.4时,预测精度到16%;而Alomair2011模型对三种稠油均达到90%以上的预测误差。除Alomair2011外的其他4种模型的预测误差均在API=18.4处达到最小值,且此处误差范围为16%~49%。

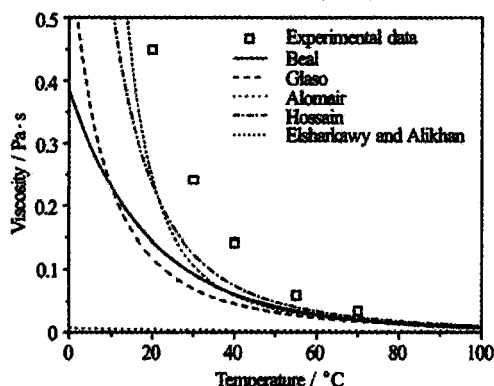


图7 稠油C的黏度模型对比

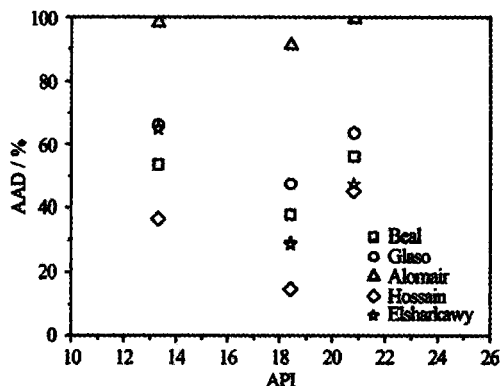


图8 各模型的预测误差统计

4 结论

本文采用哈克流变仪测量了国内3种不同稠油不同温度下的黏度,并分别与文献中常用的5种模型进行了对比分析。研究表明,稠油动力黏度和密度都随着温度的升高而降低,而且黏度越高的稠油对应的密度也越大。API度和温度是稠油黏度预测的两个重要参量。在所有的模型中,Hossain2005具有最高的精度,在API=18.4时预测误差仅为16%,而Alomair2011模型则几乎失去作用。

参考文献

- 1 Martínez-Palou R., Mosqueira M., Zapata-Rendón B., et al. Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011,75(3-4): 274-282.
- 2 Beal C. Viscosity of air, water, natural gas, crude oil and its associated gases at oil field temperature and pressures. Trans AIME 1946;165:114-27.
- 3 Glaso O. Generalized pressure-volume-temperature correlation for crude oil system. J Pet Technol

1980;2:785-95.

- 4 Hossain MS, Sarica C, Zhang HQ. Assessment and development of heavy-oil viscosity correlations. In: SPE International Thermal Operations and Heavy Oil Symposium, Calgary, 1-3 November 2005. p. 1-9.
- 5 Alomair O, Elsharkawy A, Alkandari H. Viscosity predictions of Kuwaiti heavy crudes at elevated temperatures. In: SPE Heavy Oil Conference and Exhibition, Kuwait, 12-14 December 2011. p. 1-18.
- 6 A.M. Elsharkawy, A.A. Alikhan, Models for predicting the viscosity of Middle East crude oils, Fuel, Volume 78, Issue 8, June 1999, Pages 891-903.

Comparative analysis of several viscosity prediction methods of heavy oil

CHEN Xiao-ping, ZHANG Jian, LIU Shuo, XU Jing-yu, WU Ying-xiang, GUO Jun

(Institute of mechanics, Chinese academy of sciences, 100190,

Email: xujingyu@imech.ac.cn)

Abstract: Dynamic viscosity is an important parameter both in exploitation and pipeline transportation process of heavy oil. Current estimating of viscosity of heavy oil is often by using viscosity prediction formulas. However, because most of the existing formulas are empirical equations based on regional data, they are of high prediction precision only for heavy oil with specific components in a particular area. In this paper, viscosities of three heavy oil from suizhong oil field or China National Offshore Oil Corporation were measured using Hakke RS6000 rotational rheometer. The dynamic viscosity range at 30 °C was: 241~5239 mPa*s, the temperature range was: 20~70 °C and the pressure was 0.1 MPa. Five kinds of viscosity calculation models including Beal1946, Glaso1980 and Hossain2005 were analyzed comparing with the experimental data. Studies had shown that both the API and temperature have great influence on the viscosity of heavy oil. In all of the five models, the prediction accuracy of Hossain model was the highest, and Alomair model the worst.

Key words: heavy oil; dynamic viscosity; calculation model; prediction accuracy; API