

文章编号: 1673 - 9620 (2007) 01 - 0049 - 04

# 渤海稠油乳状液制备条件的确定及表观粘度的预测<sup>\*</sup>

朱 鸣

(浙江海洋学院 油气储运工程系, 浙江 舟山 316000)

**摘要:** 渤海稠油乳状液为油包水乳状液。通过对比室内制备出的油包水(W/O)乳状液的粘度与现场取样粘度, 找到室内制备渤海稠油乳状液的制备条件, 并在该条件下制备含水 10% ~ 50% 的渤海稠油乳状液, 测得 30、40、50、60 和 70 各区纯油粘度及其各区乳状液表观粘度, 在此基础上提出了计算渤海稠油乳状液表观粘度的半经验半理论关系式, 并对该数学模型进行验证, 结果表明, 用该方法计算渤海稠油乳状液表观粘度是可行的。

**关键词:** 渤海稠油; 乳状液; 表观粘度

**中图分类号:** TE 832.3

**文献标识码:** A

## Preparation Condition and Predicting the Apparent Viscosity of Emulsion of Bohai Oil Field

ZHU Ming

(Oil and Natural Gas Storage & Transportation, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China)

**Abstract:** Through comparing the viscosity of primary and prepared emulsion, the preparation condition of emulsion of Bohai oil field was determined. Based on the prepared emulsion, apparent viscosity of emulsion has been measured at 30, 40, 50, 60 and 70. The method of calculating the apparent viscosity of emulsions of Bohai oil field has been proposed, which is a semi-rational expression. The result shows that the way of calculating the apparent viscosity of emulsions of Bohai oil field is feasible.

**Key words:** heavy oil; emulsion; apparent viscosity

### 1 制备渤海稠油乳状液的实验装置

以前的实验装置是由 IKA 数显可控转速搅拌机、搅拌桨和一个 200 mL 烧杯组成。实验中发现, 当搅拌转速达到 350 ~ 400 r/min 时, 油水分分离流动, 无法充分混合, 不能形成油包水型(W/O)乳状液。

改进后的实验装置是由 IKA 数显可控转速搅拌机、搅拌桨和一个与 200 mL 烧杯相似的不锈钢容器构成。在不锈钢容器内壁四周均匀分布了 3 个

挡板, 并且在挡板上钻有小孔。实验中发现, 挡板有效防止了以前实验中油和水在烧杯中分离流动现象而导致油水不能充分混合, 小孔能消除油水在挡板后堆积而不能使油水混合均匀。

### 2 渤海稠油乳状液制备转速的确定

原理是通过测量现场实际油水乳状液粘度, 采用反演法<sup>[1]</sup>, 确定出与该乳状液实际乳化程度相当的室内乳化条件, 并以此作为室内制备乳状液的依据。首先, 对比由现场运至实验室的含水乳化油粘

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2005 - 12 - 26

作者简介: 朱鸣 (1979 - ), 男, 江苏丹阳人, 硕士。

度与室内用不同搅拌转速制备的相同含水乳化油粘度,并且现场乳化油中未加入破乳剂。具体方法为:先测量现场含水乳化油粘度,然后采用电脱水法将乳化油脱水,该方法不需要加入破乳剂。分别收集脱出水 and 脱水油,将脱出水 and 脱水油用搅拌器在不同转速下进行混合,制备含水乳化油,并测量含水乳化油粘度。因渤海稠油井口温度基本在 50 左右,因此室内制备油水乳状液温度定为 50,油水一次性混合,根据以往经验,搅拌时间定为 10 min,对比情况见表 1,表 2。

表 1 含水率 41.8 % 缓中 36 - 1A 区油水乳状液与不同转速制备乳状液粘度对比

Table 1 The contrast of apparent viscosity between the primary emulsion and the prepared at different rotational speed with 41.8 % water content of SZ36 - 1A

制备转速/ (r/min)	500	1 000	1 500
现场乳化油粘度/ (mPa · s)		7 482.7	
制备乳化油粘度/ (mPa · s)	7 627.5	8 114.0	8 524.4
相对误差/ %	1.94	8.44	13.92

表 2 含水率 49 % 缓中 36 - 1J 区油水乳状液与不同转速制备乳状液粘度对比

Table 2 The contrast of apparent viscosity between the primary emulsion and the prepared at different rotational speed with 9.3 % water content of SZ36 - 1J

制备转速/ (r/min)	400	500	1 000
现场乳化油粘度/ (mPa · s)		3 236.4	
制备乳化油粘度/ (mPa · s)	3 207.8	3 229.6	5 896.9
相对误差/ %	- 0.88	- 0.21	82.20

从以上对比数据看出,搅拌转速为 500 r/min 对室内制备渤海稠油乳状液较为适宜。

### 3 现场验证

为尽可能排除油样运送过程中可能对油水乳化产生的影响,使制备油水乳状液更接近现场实际,在缓中 36 - 1 平台进行对比实验:油水一次性混合,搅拌速率 500 r/min,搅拌时间 10min 制备乳状液。制备的乳状液与油井产出的相同含水乳状液粘度进行比较,结果见表 3 至表 5。

表 3 含水率 9.3 % 缓中 36 - 1A23 # 40 取样油与制备油粘度对比

Table 3 The contrast of apparent viscosity of the prepared and primary emulsion with 9.3 % water content of SZ36 - 1A23 # at 40

油样	$K'$ (mPa · s <sup>n</sup> )	$n$	10 s <sup>-1</sup> 粘度/ (mPa · s)
取样乳状液	4 227.9	0.998	4 217.2
制备乳状液	4 736.4	0.992	4 650.0
相对误差/ %	12.03	- 0.60	10.27

表 4 含水率 15.5 % 缓中 36 - 1A2 # 40 取样油与制备油粘度对比

Table 4 The contrast of apparent viscosity of the prepared and primary emulsion with 15.5 % water content of SZ36 - 1A2 # at 40

油样	$K'$ (mPa · s <sup>n</sup> )	$n$	10 s <sup>-1</sup> 粘度/ (mPa · s)
取样乳状液	4 466.5	0.960	4 073.5
制备乳状液	4 645.4	0.966	4 335.3
相对误差/ %	4.00	0.63	6.43

表 5 含水率 26.7 % 缓中 36 - 1A9 # 40 取样油与制备油粘度对比 (分次加水)

Table 5 The contrast of apparent viscosity of the prepared and primary emulsion with 26.7 % water content of SZ36 - 1A9 # at 40

油样	$K'$ (mPa · s <sup>n</sup> )	$n$	10 s <sup>-1</sup> 粘度/ (mPa · s)
取样乳状液	4 257.4	0.95	3 794.4
制备乳状液	5 911.8	0.94	5 149.0
相对误差/ %	38.8	- 1.10	35.7

从以上对比可以看出,当制备转速为 500 r/min,油水一次性混合时,制备乳状液粘度和现场实际取样粘度比较接近,而采用分次加水方式制备乳状液粘度偏大。

配制后,应及时测量以免长时间静置出现老化或分层。在该制备条件下制备乳状液粘度数据重复性较好,制备乳状液含水率提高,并和现场数据趋于一致。各油样制备乳状液粘度与现场乳化油粘度对比见表 6 至表 10。

表 6 含水率 39 % SZ36 - 1D 平台综合油样粘度对比

Table 6 The contrast of apparent viscosity with 39 % water content of SZ36 - 1D

测温/	40	50	60
现场乳化油粘度/ (mPa · s)	6 759.8	3 006.6	1 448.2
室内制备乳化油粘度/ (mPa · s)	6 884.8	3 074.4	1 450.8
相对误差/ %	1.8	2.2	0.2

表 7 含水率 9 % QHD32 - 6A 平台油样粘度对比

Table 7 The contrast of apparent viscosity with 9 % water content of QHD32 - 6A

测温/	40	50	60
现场乳化油粘度/ (mPa · s)	4 320	1 754	814.6
室内制备乳化油粘度/ (mPa · s)	4 402.8	1 783	818.7
相对误差/ %	1.9	1.6	0.5

表 8 含水率 23.2 % SZ36 - 1D 平台油样粘度对比

Table 8 The contrast of apparent viscosity with 23.2 % water content of SZ36 - 1D

测温/	40	50	60
现场乳化油粘度/ (mPa · s)	1 260.4	648.5	352.2
室内制备乳化油粘度/ (mPa · s)	1 179.2	632.7	326.2
相对误差/ %	- 6.4	- 2.5	- 7.9

表 9 含水 40 %SZ32 - 1A 平台油样粘度对比

Table 9 The contrast of apparent viscosity with 40 % water content of QHD32 - 6A

测温/	40	50	60
现场乳化油粘度/ (mPa · s)	4 320	1 754	814. 6
室内制备乳化油粘度/ (mPa · s)	7 723. 5	2 384. 2	1 686. 4
相对误差/ %	5. 8	3. 7	- 5. 9

表 10 含水 49 %SZ36 - 1J 区油样粘度对比

Table 10 The contrast of apparent viscosity with 49 % water content of SZ36 - 1J

测温/	40	50	60
现场乳化油粘度/ (mPa · s)	6 656. 0	3 236. 4	1 640. 2
室内制备乳化油粘度/ (mPa · s)	6 671. 8	3 014. 5	1 569. 6
相对误差/ %	2. 4	- 6. 9	- 4. 3

从粘度对比来看，实验中 5 种稠油乳状液 15 个测点平均误差（误差绝对值的平均值）仅 3. 5 %，因此，通过测量现场实际油水乳状液粘度，采用反演法确定出与该乳状液实际乳化程度相当的室内乳化条件是可行的，即制备条件为：油水一次混合；混合温度为 50 ；搅拌转速 500 r/ min。

4 渤海稠油水 W/ O 乳状液粘度预测

对渤海 SZ36 - 1A 区、SZ36 - 1B 平台、SZ36 - 1J 区、SZ36 - 1D 平台、QHD32 - 6A 平台、QHD32 - 6E 平台共 6 种区块的脱水稠油，分别测定 30、40、50、60 和 70 下各稠油的纯油粘度，结果见图 1。

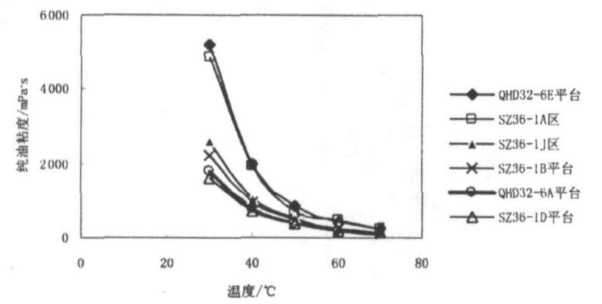


图 1 6 种脱水稠油纯油粘温关系曲线

Fig 1 The curve of the relation between viscosity and temperature of Bohai six kind of pure oil

纯油粘度和温度的关系可用如下方程表示： $\eta_0 = e^{Bt}$ ，式中  $B$  为常数， $t$  为温度， $\eta_0$  为温度  $t$  纯稠油粘度，mPa · s； $\eta_{30}$  为温度 30 纯稠油粘度，mPa · s； $t$  为温度， $^{\circ}\text{C}$ 。通过对文献 [2 ~ 4] 总结，对含水原油乳状液粘度计算提出以下计算式：
$$\eta_t = \eta_{30} e^{B(t-30)} (1 - k\phi)^{-2.5}$$
式中  $\phi$  为有效分散系数，%。

用此式对已有乳状液粘度进行拟合，得到  $k$  值，结果见表 12。

表 11 渤海稠油纯油粘温关系回归系数表

Table 11 The fitting coefficient of the relation between viscosity and temperature of Bohai pure oil

油样	回归系数	相关系数
SZ36 - 1A	- 0. 073 7	0. 980 2
SZ36 - 1B	- 0. 071	0. 993 4
SZ36 - 1D	- 0. 069	0. 992 4
SZ36 - 1J	- 0. 073 2	0. 993 4
QHD32 - 6A	- 0. 071 2	0. 994 2
QHD32 - 6E	- 0. 077 6	0. 992 6

为了能够方便地预测渤海稠油水（W/ O）体系粘度，在建立模型时，把各区纯稠油在 30 粘度作为一个基准，预测其它温度下纯油粘度，这样就不需要在计算纯油不同温度粘度时，先要测定几个温度下的粘度，可以节约实验工作量。通过数据分析，得到纯油和温度关系是如下：

式中  $\eta_t$  为温度  $t$  纯稠油粘度，mPa · s； $\eta_{30}$  为温度 30 纯稠油粘度，mPa · s； $t$  为温度， $^{\circ}\text{C}$ 。通过对文献 [2 ~ 4] 总结，对含水原油乳状液粘度计算提出以下计算式：

式中  $\phi$  为有效分散系数，%。

用此式对已有乳状液粘度进行拟合，得到  $k$  值，结果见表 12。

表 12 拟合系数  $k$  值结果

Table 12 The result of fitting coefficient  $k$

油样	$k$	油样	$k$
SZ36 - 1A	1. 04	SZ36 - 1B	1. 03
SZ36 - 1D	1. 02	SZ36 - 1J	1. 03
QHD32 - 6A	1. 04	QHD32 - 6E	1. 04

对拟合得到的  $k$  进行敏感性分析，认为在实际预测时，可取  $k$  的平均值 1. 03。

5 乳状液表观粘度计算公式验证

应用建立的乳状液表观粘度计算公式计算 QHD32 - 6A 平台和 SZ36 - 1J 区油水乳状液的表观粘度，并与实测值进行比较，比较结果见图 2 和图 3。

计算结果表明，采用建立的乳状液表观粘度计算公式计算 QHD32 - 6A 平台和 SZ36 - 1J 区油水乳状液表观粘度，平均相对偏差分别为 8. 1 % 和 6. 7 %，计算结果较接近实验测量值。

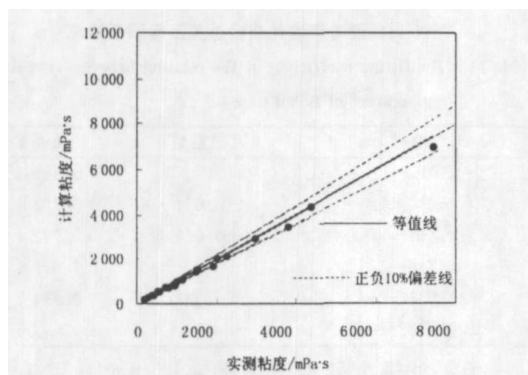


图2 QHD32-6A 平台油水乳状液表观粘度测量值与计算值对比

Fig. 2 Contrast of the measured and predicted apparent viscosity of emulsion of QHD32-6A

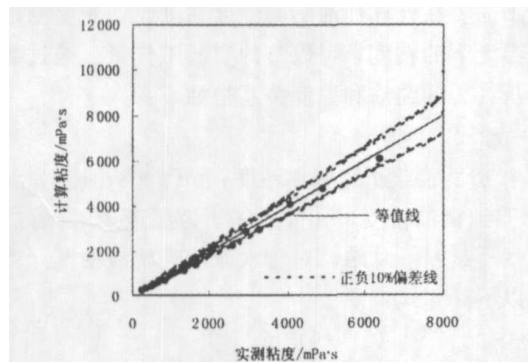


图3 SZ36-1J 区油水乳状液表观粘度测量值与计算值对比

Fig. 3 Contrast of the measured apparent viscosity and the predicted of emulsion of SZ36-1J

## 6 结 论

(1) 本文提出了针对渤海稠油乳状液的制备方

法,从粘度对比来看,实验中5种稠油乳状液15个测点平均误差(误差绝对值的平均值)仅3.5%,因此,通过测量现场实际油水乳状液粘度,采用反演法确定出与该乳状液实际乳化程度相当的室内乳化条件是可行的。

(2) 其渤海稠油乳状液表观粘度的预测的数学模型为:

$$\tau_{\phi} = \frac{30}{\phi} e^{B(t-30)} (1 - k\phi)^{-2.5}$$

式中  $\phi$  为有效分散系数,%;  $B = -0.07262$ ;  $k = 1.03$ 。用于验证的粘度数据分别为 QHD32-6A 平台和 SZ36-1J 区油水乳状液的表观粘度数据。对比表观粘度预测值和实验测量值表明,计算的表观粘度平均相对偏差分别为 8.1% 和 6.7%,因此采用这种方法计算渤海稠油乳状液粘度是可行的。

## 参考文献:

- [1] 张帆. 含水原油乳化测量中的若干问题 [J]. 中国海上油气, 2002, 14 (6): 32-33.
- [2] RASHID KHAN M. Rheological properties of heavy oils and heavy oil emulsions [J]. Energy Sources, 1996, (18): 385-391.
- [3] Rajinder Pal. A novel method to correlate emulsion viscosity data [J]. Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects, 1998, (137): 275-286.
- [4] Rajinder Pal. Shear viscosity behavior of emulsion of two immiscible liquids [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, (225): 359-366.