

# TURBISCAN LAB 稳定性分析仪 研究稠油乳状液稳定性

江漩涛<sup>1</sup>, 敬加强<sup>1,2\*</sup>, 杜磊<sup>2,3</sup>, 李小明<sup>1</sup>, 周怡诺<sup>1</sup>, 孙杰<sup>1</sup>

(1. 西南石油大学石油与天然气工程学院, 四川 成都 610500; 2. 油气消防四川省重点实验室, 四川 成都 611731; 3. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610213)

**摘要:**传统的稠油乳液稳定性分析方法不能定量地分析稠油乳液的稳定性, 为了解决这一问题, 提出了利用基于多重光散射技术的 Turbiscan Lab 稳定性分析仪定量研究稠油/乳化剂水溶液混合体系稳定性的新技术。将不同质量分数的 OP-10 表面活性剂应用于稠油/表面活性剂水溶液体积比为 7:3 的混合体系中, 通过测量体系的透射光 *T* 和背散射光 *BS* 强度随时间变化的曲线, 进一步定量分析了混合体系中连续相和分散相的聚集沉降过程和稠油加入乳化剂降黏后稳定性发生改变的原因。结果表明, 当乳化剂质量分数由 0.5% 增加到 1.0% 时, 背散射光在单位时间的变化量  $\Delta BS$  值由 3.0% 降至 0.5%, 乳状液稳定性随着添加量的增加稳定性增强。当乳化剂质量分数由 1.0% 增加到 2.0% 时,  $\Delta BS$  值由 0.5% 升至约 2.1%, 乳液稳定性降低。

**关键词:**乳液; Turbiscan Lab 稳定性分析仪; 乳化剂; 测量; 稳定性

中图分类号: TE869

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)01-0176-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.01.043

## Study on heavy oil emulsion stability by using Turbiscan Lab

JIANG Xuan-tao<sup>1</sup>, JING Jia-qiang<sup>1,2\*</sup>, DU Lei<sup>2,3</sup>, LI Xiao-ming<sup>1</sup>, ZHOU Yi-nuo<sup>1</sup>, SUN Jie<sup>1</sup>

(1. Department of Oil and Gas Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. Oil and Gas Fire Protection Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 611731, China;

3. Southwest Branch of China Petroleum Engineering Company, Chengdu 610213, China)

**Abstract:** The stability of heavy oil emulsion is quantitatively analyzed by using Turbiscan Lab based on multiple light scattering technique. The oil emulsion is prepared by mixing 7:3 volume ratio of oil and water, and different percentage of emulsifier. The relationship of the intensity of transmission light (*T*) and backscattering light (*BS*) with the time is studied. The reasons for dispersion aggregation and sedimentation process and the change of emulsion stability are further discussed. The results show that when the emulsifier is increased from 0.5 wt.% to 1.0 wt.%, the backscattering variation in the unit time ( $\Delta BS$ ) decreases from 3.0% to 0.5%. The emulsion stability increases with the increase of emulsifier content. However, when the emulsifier is increased from 1.0 wt.% to 2.0 wt.%,  $\Delta BS$  increases from 0.5% to 2.1%, but the emulsion is less stable.

**Key words:** emulsion; Turbiscan Lab stability analyzer; emulsifier; measurement; stability

在全球能源需求不断增长的大背景下, 稠油已占到探明可开采石油储量的  $1/2$ <sup>[1-2]</sup>。而其较高的黏度相当程度上制约了其在输送过程中的可流动性, 给稠油开采带来了很大的困难<sup>[3]</sup>。在诸多稠油采输方法中, 乳化降黏法以其节能、乳化效果显著和破乳相对容易等优点在石油开采工业中得到广泛使用。如果处在管流状态下的乳状液在输送过程中不具备足够的稳定性, 则在一定温度条件下发生反相, 从而破坏管输的稳定性。在乳化剂价格高昂的情况下, 通过研究得出一个令稠油乳状液达到稳定的合适乳化剂添加量, 使其既能符合开采和运输过程中的流动性需要, 又能满足脱水工艺要求显得尤为重要<sup>[4-7]</sup>。

基于多重光散射技术的 Turbiscan Lab 型分散

稳定性分析仪通过对发射到测试样品上的透射光和背散射光强度变化的测量, 利用相关软件分析分散相粒子的运动以及各体系稳定性参数的变化, 并通过对比各试样的分散稳定性参数, 给出直观的液体体系稳定性评价结果<sup>[8-12]</sup>。OP-10 作为一种广谱高效的非离子型乳化剂, 其对稠油乳化所形成的乳液相对稳定, 且具有适应各类水质、耐高温和酸碱盐等优良性能。笔者以该乳化剂质量分数 0.5% ~ 2.0% 为参考, 利用 Turbiscan Lab 稳定性分析仪研究了不同质量分数乳化剂 OP-10 对稠油乳状液常温 (25℃) 静态稳定性变化的影响, 分析了油水比为 7:3 时不同乳化剂添加量下 O/W 型乳状液中分散相液滴常温时的运动行为, 得出了稠油乳化时最经济

收稿日期: 2015-06-03

基金项目: 国家“十二五”重大示范工程阿姆河右岸中区天然气开发示范工程资助项目 (2011ZX05059)

作者简介: 江漩涛 (1984-), 男, 硕士生, 主要从事油田化学方面研究, 377295996@qq.com; 敬加强 (1964-), 男, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事油田化学、复杂多相流安全保障技术、非常规原油流动改进机理及应用等领域的工作, 通讯联系人, 13980987856, jjq@swpu.edu.cn。

的添加质量分数。

## 1 实验部分

### 1.1 主要试剂与仪器

主要试剂: SZ36-1 采出油, 其物理性质如表 1 所示; OP-10, 非离子型烷基酚聚氧乙烯醚类乳化剂, 物理性质如表 2 所示, 市售; 蒸馏水, 自制。

表 1 SZ36-1 稠油基本性质

相对密度 (25℃)	黏度(25℃)/ (mPa·s)	w(胶质)/ %	w(沥青)/ %	w(芳香 分)/%	w(饱和 分)/%
0.975	8922.90	15.70	17.13	26.57	40.60

表 2 OP-10 基本性质

相对密度 (25℃)	HLB	CMC(25℃)/ (g·L <sup>-1</sup> )	pH (1.0%水溶液)	浊点/ ℃
1.04	14.5	12.92	6~7	61~67

主要仪器: Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪, 法国 Formulacion 公司生产; FR423CN 型电子分析天平, 奥斯豪(上海)有限公司生产; 78-1 型磁力加热搅拌器, 上海双捷实验设备有限公司生产。

### 1.2 实验方法

在实验当天用蒸馏水配制 OP-10 质量分数分别为 0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0% 的活性水, 待搅拌机搅拌均匀后, 用高纯氮气驱氧 2~4 h, 之后在 100 mL 烧杯中按油水体积比 7:3 将原油与活性水混合。将混合液置于 25℃ 恒温水浴中 20 min 后, 放入搅拌机中以 2 500 r/min 的转速搅拌 20 min, 得到均匀的油水两相乳状液体系, 采用滤纸润湿法测得各试样均为 O/W 型乳状液。

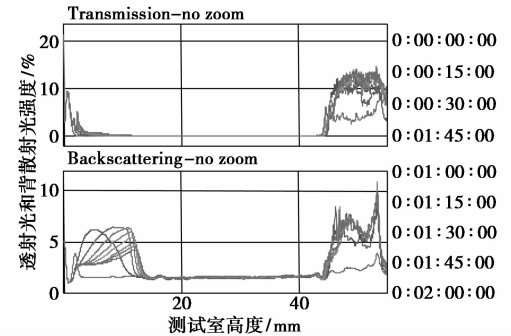
取 4 只 25 mL 具塞试管, 分别标示为 a、b、c 和 d, 各试管中分别对应加入已配制好的 OP-10 质量分数分别为 0.5%、1.0%、1.5% 和 2% 的油水乳状液各 20 mL 后, 将 4 只试管塞好塞子后置于设定温度为 25℃ 的水浴锅中备用。实验中, Turbiscan Lab 参数设置为: 间隔 15 min 扫描 1 次, 测试时间为 2 h, 每隔 40 μm 获取一组透射光和散射光强度数据, 测试高度为 40 mm, 温度为 25℃。在各试样达到所要求温度后, 依次将试管上下震动 200 次后, 放入设定参数并预热好的稳定性分析仪中。测量得出相关数据后, 分析 4 组试样 20 min 时的油水界面分层情况, 油相和水相乳化程度以及 120 min 时的出水量, 并作相应的比较分析。乳化倾向的大小根据油水界面分层情况、乳化层厚度及出水量等指标加以判定。

标准为: 如出水多、分层快, 表明乳状液不稳定, 体系的乳化倾向就越小; 反之, 则乳状液越稳定, 乳化倾向越大<sup>[13-14]</sup>。

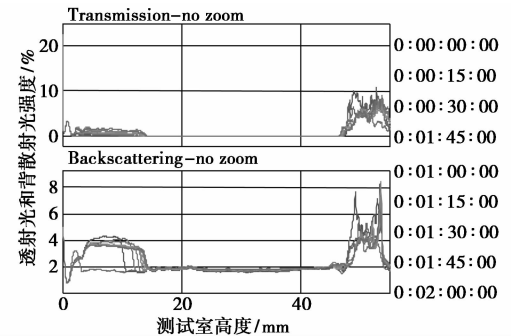
## 2 结果与讨论

### 2.1 背散射光谱分析乳状液稳定性

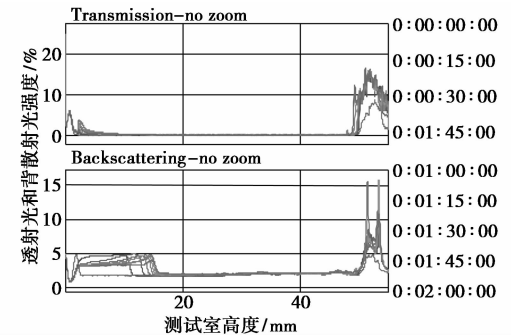
添加不同体积分数表面活性剂的试样分别扫描



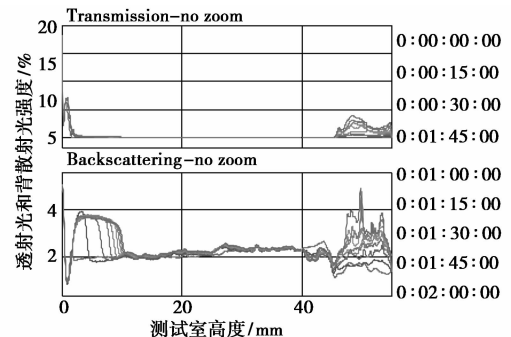
(a) 乳化剂质量分数为 0.5%



(b) 乳化剂质量分数为 1.0%



(c) 乳化剂质量分数为 1.5%



(d) 乳化剂质量分数为 2.0%

图 1 各试样稠油乳状液的扫描图谱

2 h, 得到不同扫描时间背散射光沿盛放试样用玻璃测试室高度的变化曲线, 如图 1 所示。

鉴于所测油水两相乳状液均为不透明体系, 故主要从测量所得背散射光着手分析各乳状液中油水两相在运动中的聚集沉降过程。按照不同类型液相体系背散射光的移动特点, 将分散相的沉降方式归为“受阻沉降”和“差异沉降”2 种类型<sup>[15-16]</sup>。由扫描图谱所得单位时间内背散射光变化量与各乳化剂质量分数的关系如图 2 所示。

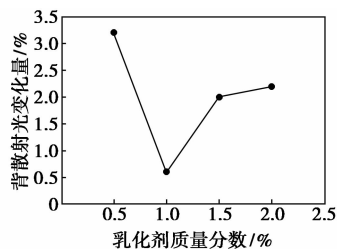


图 2 背散射光变化量随不同乳化剂质量分数的变化曲线

由图 2 可以发现, 在乳化剂质量分数为 1.0% 时, 背散射光变化量  $\Delta BS$  约为 0.6%。依据多重光散射原理, 单位时间内的背散射光变化量  $\Delta BS$  的绝对值决定着乳状液的稳定性。 $\Delta BS$  的绝对值越小, 乳状液越稳定, 乳化倾向越大; 反之, 乳化倾向就越小。因此, 相较其他各组而言, 乳化剂质量分数为 1.0% 时的  $\Delta BS$  变化最小, 稳定性相对最好。当乳化剂质量分数为 0.5% 时, 背散射光强度由 7.0% 下降至约 4.0%, 而在乳化剂质量分数大于 1.0% 时, 随着乳化剂质量分数的增加,  $\Delta BS$  的值进一步增大, 表明体系中乳化剂的增加对乳状液的稳定性造成了破坏。

按照所提供 OP-10 的临界胶束浓度  $CMC$ , 换算成乳化剂的质量分数约为 1.28%, 考虑到稠油乳化液体系中广泛存在的金属离子和极性有机物, 乳化剂的  $CMC$  会有所降低<sup>[17]</sup>。经计算, OP-10 在本实验乳状液体系中的  $CMC$  约为 1.0%。当乳化剂浓度超过  $CMC$  时, 其结构会发生转变, 从而造成乳状液稳定性的下降。

## 2.2 油水界面分层情况

记录空白对照组与添加不同质量分数表面活性剂乳状液静置 120 min 时的油水界面分层情况, 观察油相、水相乳化程度<sup>[18-19]</sup>。

实验显示, 120 min 时, 乳化剂质量分数为 1.0% 的试样与其他各组相比出水量约为 7 mm, 低于其他各组, 均接近于 9 mm 的出水量, 乳化层均匀

一致, 稳定性最好。

## 2.3 分散相液滴的运动速率

取 2 h 内各试样中分散相液滴平均运动速率作为各组试样稳定性分析的参考, 计算结果如图 3 所示。

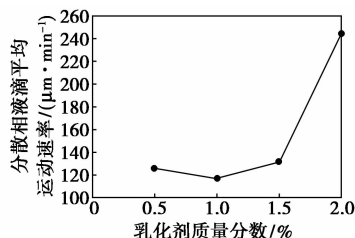
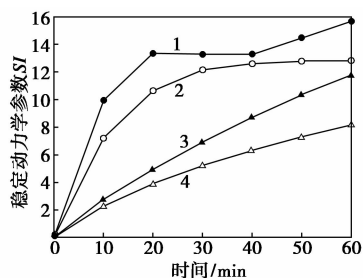


图 3 各试样分散相液滴平均运动速率比较曲线

由图 3 可得, 乳化剂质量分数为 0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0% 时, 所对应的分散相液滴在所选时间内的平均运动速率分别为 125.9、117.2、131.7  $\mu\text{m}/\text{min}$  和 244.5  $\mu\text{m}/\text{min}$ 。由此可见, 当乳化剂质量分数低于 1.0% 时, 加量越低, 分散相液滴的平均运动速率越大, 聚并现象越显著, 体系不稳定性增加; 而随着乳化剂质量分数的进一步增加, 超过临界胶束浓度时, 体系中会迅速形成大量形态各异的胶束, 分散相运动速率迅速增加, 体系稳定性随之下降; 当乳化剂质量分数为 1.0% 时, 乳状液体系中油相聚集上浮和水相下沉的平均速率最小, 同时也说明水相不易脱出, 混合体系的稳定性最好。

## 2.4 稳定性动力学参数计算

分散相粒子的平均直径和体积分数直接决定着被散射光强度的变化程度, 反映体系的稳定程度<sup>[20]</sup>。为直观地比较相关试样的稳定性差异, 所测时间内的平均背散射光变化率可由  $\Delta BS$  经微积分处理后得出, 并以稳定性动力学参数 (Stability Index,  $SI$ ) 表示。经数据处理后, 表征体系稳定性大小的稳定性动力学指数由设备所附软件 Turbiscan EasySoft 处理得出, 指数越小表示样品体系越稳定<sup>[21-22]</sup>。处理结果如图 4 所示。



1—质量分数为 2.0%; 2—质量分数为 1.5%;  
3—质量分数为 0.5%; 4—质量分数为 1.0%

图 4 各试样稳定动力学参数  $SI$  比较示意图

研究表明,  $SI$  曲线斜率越低, 对应的试样稳定性越好, 反之越差<sup>[23]</sup>。由图4可得, 在60 min后, 各乳状液体系的分散相液滴平均运动速率下降, 稳定性趋于平稳。当添加质量分数为1.0%的乳化剂时, 对应的曲线斜率最小, 乳化液体系的稳定性最佳。当质量分数小于1.0%时, 随着乳化剂质量的增加,  $SI$  曲线斜率逐渐降低, 质量分数大于1.0%时,  $SI$  曲线斜率逐渐增大, 乳状液稳定性变差, 整个过程与前述分析基本契合, 所作结论得到了进一步证实。

### 3 结论

Turbiscan Lab 稳定性分析仪可以从定性和定量等多角度分析稠油乳状液内部水相的沉淀及油相的絮集上浮过程, 在稠油乳状液稳定性评价方面, 是目前较为准确、快捷的评价设备之一。该设备除了可以从微观角度对乳状液各部分的变化速率、内部液滴的粒径大小等进行定量分析外, 还能直观得出乳状液的稳定性, 并据此判断其乳化倾向, 有助于深层次地剖析体系不稳定性发生的机理。通过 Turbiscan Lab 稳定性分析仪对稠油乳状液常温稳定性的研究, 得出了该油水体积比为7:3乳状液, 常温下达到稳定所需最经济 OP-10 乳化剂质量分数为1.0%, 为相关单位工程实践中的乳化剂使用提供了科学合理的依据。

### 参考文献

[1] Martínez-Palou R, de Lourdes 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): 274 - 282.

[2] Salager J L, Briceno M I, Bracho C L. Heavy hydrocarbon emulsions. Making use of the state of the art in formulation engineering [J]. *Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology*, 2001, 20: 455 - 495.

[3] Alvarez G, Poteau S, Argillier J F, *et al.* Heavy oil-water interfacial properties and emulsion stability: Influence of dilution[J]. *Energy & Fuels*, 2008, 23(1): 294 - 299.

[4] Mengual O, Meunier G, Cayre I, *et al.* Characterisation of instability of concentrated dispersions by a new optical analyser: The TURBISCAN MA 1000 [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 1999, 152(1): 111 - 123.

[5] 上官民, 刘有智, 焦纬洲, 等. 乳化剂对甲醇乳化柴油稳定性的影响[J]. *化工进展*, 2011, 30(3): 509 - 512.

[6] Nguyen D, Balsamo V. Emulsification of heavy oil in aqueous solutions of poly(vinyl alcohol): A method for reducing apparent vis-

cosity of production fluids [J]. *Energy & Fuels*, 2013, 27(4): 1736 - 1747.

[7] Opedal N T, Sorland G, Sjoblom J. Emulsion stability studied by Nuclear Magnetic Resonance (NMR) [J]. *Energy Fuels*, 2010, 24(6): 3628 - 3633.

[8] 杨小莉, 陆婉珍. 有关原油乳状液稳定性的研究[J]. *油田化学*, 1998, 15(1): 87 - 96.

[9] 张翼, 王德虎, 林庆霞, 等. 油田用乳化剂乳化力的测定方法改进[J]. *化工进展*, 2012, 31(8): 1852 - 1856.

[10] Fan Z Z, Wang T, Li P P, *et al.* The evaluation of factors affecting the performance of heavy oil emulsion [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 690: 1508 - 1511.

[11] Lemarchand C, Couvreur P, Vauthier C, *et al.* Study of emulsion stabilization by graft copolymers using the optical analyzer Turbiscan [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2003, 254: 77 - 82.

[12] 裘智超, 赵志宏, 常泽亮, 等. 塔中 I 气田 H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> 共存气藏地面管道缓蚀剂复配与评价 [J]. *油气储运*, 2013, 32(9): 962 - 965.

[13] 张锐, 王瑞和, 邱正松, 等. 利用光散射原理评价泡沫钻井液的稳定性 [J]. *石油学报*, 2005, 26(1): 105 - 108.

[14] 黄翔峰, 程航, 陆丽君, 等. 利用稳定性分析仪研究化学破乳过程 [J]. *化工进展*, 2010, (5): 825 - 830.

[15] Mengual O, Meunier, Cayre I, *et al.* TURBISCAN MA2000: Multiple light scattering measurement for concent emulsion and suspension instability analysis [J]. *Talanta*, 1999, 50(2): 445 - 456.

[16] 杜娟, 曾宪诚. 金属盐作用下的表面活性剂临界胶束浓度的变化研究 [J]. *四川大学学报: 自然科学版*, 2002, 39(4): 721 - 724.

[17] 李博, 王华, 朱道飞, 等. 超声波-机械搅拌联合乳化重油分散度实验 [J]. *化工进展*, 2010, (6): 999 - 1003.

[18] 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5273—2000. 油田采出水用缓蚀剂性能评价方法 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2000 - 03 - 10.

[19] 张小军, 冯建国, 刘尚钟, 等. 利用多重光散射技术研究吡虫啉悬浮剂的物理稳定性 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(2): 423 - 427.

[20] 李朋伟, 杨东杰, 楼宏铭, 等. 利用分散稳定性分析仪研究水煤浆的稳定性 [J]. *燃料化学学报*, 2008, 36(5): 524 - 529.

[21] 伍鸿飞, 敬加强, 靳文博, 等. 原油族组成及碳数分布对其低温流动特性的影响 [J]. *油气储运*, 2014, 33(1): 42 - 45.

[22] Bordes C, Snabre P, Frances C, *et al.* Optical investigation of shear- and time-dependent microstructural changes to stabilized and depletion-flocculated concentrated latex sphere suspensions [J]. *Powder Technology*, 2003, 130(1/2/3): 331 - 337.

[23] 杭峰, 艾连中, 郭本恒, 等. 多重光散射技术在乳体系稳定性分析中应用 [J]. *中国乳品工业*, 2012, 40(10): 36 - 41. ■