

# 易凝高粘原油乳状悬浮液分散体系研究

张其敏<sup>1</sup> 孟江<sup>1</sup> 李顺勇<sup>2</sup> 郑猛<sup>3</sup> 蒲前梅<sup>4</sup>

(1. 重庆科技学院石油工程学院; 2. 中国石油管道兰成渝输油公司;

3. 辽河油田钻采工艺研究院油化所; 4. 青海油田管道输油处)

张其敏等. 易凝高粘原油乳状悬浮液分散体系研究. 油气储运, 2010, 29(2): 118-120.

**摘要:**在相对高的温度下配制稳定性良好的易凝高粘原油乳状液,当温度下降时,乳状液转化为稳定的悬浮液分散体系。研究认为,该乳状悬浮液分散体系的表现粘度随温度的降低略有波动,整个分散体系表现出幂律流体的性质。研究了乳化剂类型和浓度、乳化温度、重复加热、降温速率、剪切强度对整个分散体系稳定性的影响。

**关键词:**易凝高粘原油; 乳化; 悬浮; 乳状液; 悬浮液; 分散体系

易凝高粘原油在开采和输送过程中存在流动性差、能耗高的问题,采用降凝剂<sup>[1]</sup>降凝或乳化法<sup>[2]</sup>降凝降粘的效果也不是很理想。在温度相对较高的条件下对高粘原油进行乳化,配制成稳定性良好的乳状液,可以使原油的粘度降低。当温度降低时,由于乳化剂的作用,固体颗粒之间不会因相互吸引而聚集<sup>[3]</sup>形成大颗粒,导致油水分层,乳状液直接转化为悬浮液,从而达到降粘、降凝的目的。

## 1 试验原料

试验用高粘原油为胜利新滩某区块的稠油,密度为  $0.964\text{ g/cm}^3$ ,  $50^\circ\text{C}$  脱气原油粘度为  $150\text{ mPa}\cdot\text{s}$ , 含蜡量为  $1.62\%$ , 胶质、沥青质含量为  $28.72\%$ ; 高粘易凝原油取自辽河某采油厂,密度为  $0.915\text{ g/cm}^3$ , 含蜡量为  $15.5\%$ , 胶质、沥青质含量为  $31.5\%$ ,  $50^\circ\text{C}$  脱气原油粘度为  $400\text{ mPa}\cdot\text{s}$ , 析蜡点为  $60^\circ\text{C}$ , 凝点为  $42^\circ\text{C}$ 。

乳化剂通过复配自制而成,乳化剂 A 的主要成分为自制乳化剂(1号),复配比例为乳化剂(1号): AS: O-3: T20: 羧酸盐: NaOH: PAM: 醇类 =  $3: 1: 0.5: 1: 1.5: 1: 0.5: 0.2$ (质量分数); 乳化剂 B 的主要成分为十二烷基磺酸钠,复配比例为十二烷基磺酸钠: NP-7: 2000 聚醚: 硫酸脂钠盐: EL-5: NaOH: PAM =  $3: 1: 0.5: 1: 1.5: 1: 0.5: 0.2$ (质量分数)。

乳状液中油水比例为  $6: 4$ (质量分数)。

## 2 乳状悬浮液的性质

将包含乳化剂 A、油、水的混合溶液加热到  $70^\circ\text{C}$ , 乳化剂的质量分数为溶液的  $2\%$ 。在  $400\text{ r/min}$  的转速下搅拌  $2\text{ min}$  后,在空气中降温制备成乳状悬浮液。

### 2.1 稳定性

在  $38\sim 70^\circ\text{C}$  温度范围内,溶液表现为乳状液形态,析出水占总含水量的  $0.5\%$ ; 在温度为  $40^\circ\text{C}$ 、转速为  $500\sim 600\text{ r/min}$  的条件下搅动,乳状液未发生明显变化。在中等降温速率( $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ )条件下从  $38^\circ\text{C}$  降至  $15^\circ\text{C}$ ,油水体系的颜色逐渐变浅,但油水仍未分层。

取一小滴降至  $15^\circ\text{C}$  的乳状液混合物,放在吸水性强的纸上,在水吸干后,强光下可以观察到极细小的固体颗粒,大小比较均匀。该现象说明,在温度相对较高条件下形成的乳状液在温度降低到一定程度后逐渐形成了悬浮液。

在  $15^\circ\text{C}$  下,低速搅拌(用手轻轻搅动)分散液,油水分散体系保持良好,在较长时间内未发生明显变化;但是在  $1000\text{ r/min}$  的高速搅动下,  $2\text{ min}$  内将会迅速出现大的固体颗粒,原油快速聚集成块并上浮,油水分层,油水分散体系被打破。

作者简介:张其敏,副教授,1972年生,1997年硕士毕业于西南石油大学油气储运专业,现主要从事原油输送工艺和管道防腐研究工作。电话:13667629407。E-mail:mengjiang20002000@yahoo.com.cn

## 2.2 表观粘度

乳状悬浮液分散体系表观粘度与温度的关系(图1)表明,在研究温度范围内,乳状悬浮液的表观粘度变化不大,其数值在  $53 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  附近波动。

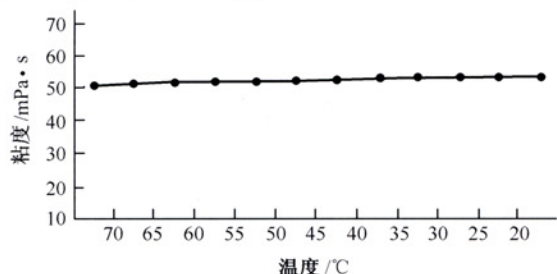


图1 乳状悬浮液表观粘度与温度的关系

乳状悬浮液表观粘度与剪切速率的关系(图2)表明,较高温下形成的乳状液和较低温度下的悬浮液表观粘度随剪切速率的增大而减小,表现出假塑性流体的性质。由于悬浮液是由乳状液转变而来,并不是完全意义上的悬浮液,因此其流变性与实际意义上的悬浮液的流变性可能存在一定差异<sup>[4-5]</sup>。

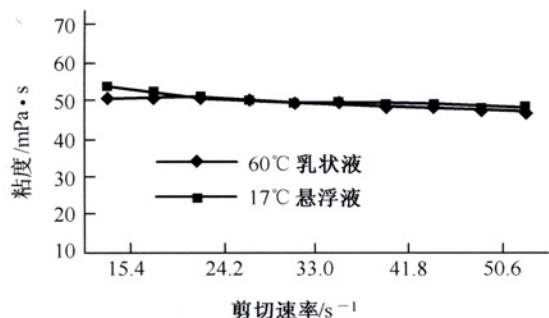


图2 乳状悬浮液表观粘度与剪切速率的关系

## 3 结果与讨论

### 3.1 乳化温度

乳化剂 A 的添加量为溶液的 2% (质量分数), 在 400 r/min 转速下搅拌 2 min 后, 分别在 70°C、60°C、50°C、45°C 下对不同种类的原油进行乳化, 然后在同样条件下的空气中降温, 观察乳状液的形态。

对于易凝高粘原油, 70°C 和 60°C 形成的乳状液粘度和稳定性在温度高于原油凝点时差别不大; 但在温度低于原油凝点后, 乳状液的粘度和稳定性明显不同。在 15°C 时, 70°C 配制的乳状液所形成的悬浮液在低速搅拌(手动搅拌)条件下, 可以稳定存在, 各项流变参数变化不大; 而 60°C 配制的乳状液, 在低速搅拌(手动搅拌)条件下, 油的固体小颗粒会较快聚结, 5 min 后迅速分层。50°C 形成的乳状液稳定性较差, 在 36°C 左右发生油水分层。45°C 下形成

的乳状液稳定性极差, 在 38°C 附近已出现油水分层现象。

对于普通的含蜡量很低的高粘原油, 例如胜利新滩某区块稠油, 只需加热使油、水、乳化剂能均匀混合即可, 不会出现明显的乳化温度, 乳化温度的高低对乳状液的性质影响不大<sup>[6]</sup>。

乳状悬浮液体系对稳定性的要求很高, 在乳状液转变为悬浮液的过程中, 要求蜡晶的颗粒大小均匀、适中。由此, 高粘易凝原油必须要有适合的乳化温度, 使原油中的蜡晶完全融化, 在原油中均匀分散, 才能具有很好的稳定性。在温度较低时形成的乳状液, 蜡晶未能完全融化, 在油中分散不均匀, 降温时, 蜡晶浓度较大的区域, 蜡晶之间易聚结形成大蜡晶, 大蜡晶吸附小蜡晶, 突破了乳化剂的阻碍, 最终引起整个油水分散体系的破坏。

### 3.2 降温速率

将在温度为 70°C、转速为 400 r/min 条件下搅拌 2 min 后配制的 O/W 乳状液(乳化剂 A 的添加量为 2%), 分别放置在同温水浴、常温空气和冷水中降温, 观察乳状悬浮液体系的变化情况。

分散体系在同温水浴中降温至 25°C 左右后, 油水分层; 在空气中冷却至 17°C 后, 油水仍能稳定分散; 在冷水中冷却至 28°C 后, 油水分层。

### 3.3 重复加热

将在温度为 70°C、转速为 400 r/min 条件下搅拌 2 min 后配制的 O/W 乳状液(乳化剂 A 的添加量为 2%) 在空气中降温, 分别对处于降温过程中的乳状液、低温条件下稳定的乳状悬浮液体系和低温下已经破坏的油水分散体系加热, 观察油水体系的变化。

处于降温过程中的乳状液, 重复加热后油水很快发生分层; 在不重新加入表面活性剂的情况下, 即使加以搅拌也不能使已经破坏的油水两相体系分散形成稳定的乳状液; 低温条件下稳定的乳状悬浮液体系, 不论加热温度是否达到乳化时的温度, 油水分散体系都遭到破坏。

### 3.4 搅拌强度

分别以 100 r/min、500 r/min、1000 r/min 的转速对乳状液体系(70°C, 400 r/min, 搅拌 2 min, 乳化剂 A 的添加量为 2%) 进行搅拌, 搅拌时间 2 min。

试验结果表明, 以 100 r/min 和 500 r/min 搅拌速率配制的乳状悬浮液体系稳定性无明显变化; 以 1000 r/min 搅拌速率配制的乳状悬浮液体系, 油水

## 实验研究 120

很快分层,分散结构遭到破坏。该现象说明乳状悬浮液体系不能经受较高剪切速率的剪切。当用于管道输送时,这种油水分散体系不能用离心泵增压。

## 3.5 乳化剂

## 3.5.1 乳化剂的种类

分别将配方不同的乳化剂、油、水的混合液加热到70℃(乳化剂A的质量分数为2%,乳化剂B的质量分数为3%),在400 r/min的转速下搅拌2 min后,空气降温制备成乳状悬浮液,观察体系的稳定性。

乳化剂B配制的乳状悬浮液体系,固体油的颗粒很大,为2~3 mm,在低温条件下能明显看到油的固体颗粒和水。该悬浮液不论在高速剪切条件下还是低速剪切条件下都不会发生聚结,只要不加热、水分不蒸发,静置3 d都不会发生明显变化。大的悬浮颗粒,虽然可以使悬浮液稳定存在,但这种乳状悬浮液并不适用于易凝高粘原油的输送,因为大颗粒很容易在阀门处堆积,造成堵塞,引起安全事故。

## 3.5.2 乳化剂的浓度

将乳化剂A、油、水的混合液加热到70℃,在400 r/min的转速下搅拌2 min后,空气降温制备成乳状悬浮液。

乳化剂的浓度低于0.1%时,虽然能够形成较稳定的乳状液,但随着温度的降低,油水分散体系在39℃时即被破坏,油水完全分层,不能形成稳定的悬浮液;乳化剂浓度在0.1%~1%之间时,油水分散体系在33℃时即被破坏,同样不能形成稳定的悬浮液;乳化剂浓度大于1%,油水分散体系在15℃时仍能稳定存在。

综上所述,高粘易凝原油在析蜡点以上5~10℃的温度条件下进行乳化,能够形成稳定的乳状液,在温度下降至较低温度后形成油水悬浮液。采用乳状悬浮液分散体系降凝、降粘的优点在于:一次加剂、一次配制,可充分利用乳化和悬浮两种方法的优点,利于降低输送成本。

易凝高粘原油要形成稳定的乳状悬浮液分散体系,必需合适的乳化剂和辅助剂,乳化复配剂的种类和浓度是决定乳状悬浮液分散体系稳定性的关键因素。应进一步开展新型表面活性剂和乳化复配剂的攻关研究以及乳状悬浮液分散体的流变性和形成机理的研究。

## 参考文献:

- [1] 严大凡,张劲军. 油气储运工程[M]. 北京:中国石化出版社, 2003:111-112.
- [2] 孟江,郑猛. 高凝稠油乳化降凝降粘实验与研究[J]. 油气储运, 2006,25(9):48-52.
- [3] 胡林,张元应,汤嘉伟,等. 表面活性剂对磁悬浮液体稳定性的影响[J]. 贵州大学学报(自然科学版),1999,16(4):270-274.
- [4] 周少奇,唐立民,冯朴荪,等. 非牛顿液体的表观粘度计算——高浓度柔性颗粒宾汉悬浮液的流变模型[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),1994,22(增刊):145-148.
- [5] 张丽莉,徐继润. 氧化铁-水悬浮液的流变性研究[J]. 过滤与分离,2007,17(1):8-10.
- [6] 孟江,向阳,祁寒冰,等. 稠油O/W乳状液流变性研究[J]. 油气储运,2007,26(9):27-31.

(收稿日期:2009-03-24)

## 征图启事

近年来,我国油气管道事业的发展势如破竹,已逐渐形成横跨东西、纵贯南北的油气管网系统。管道科技研究日新月异、飞速发展,科研成果、知识总量成倍增加。为了适应管道事业大发展的需要,紧随国际科技期刊的发展潮流,本刊拟向社会各界征集与油气储运相关的照片,以展示行业风貌、活跃期刊版式、增强期刊的视觉效果和可读性。

具体要求:

1. 照片内容具有鲜明的行业特色,反映我国油气储运事业的蓬勃发展,素材不限,包括站场风光,工艺设施,管道施工、检测现场,管道穿越工程等。
2. 照片清晰,具有一定的艺术性,使用JPG或TIF格式。
3. 署摄影者真实姓名,版权自负。
4. 附简短文字说明和摄影者的详细联系方式。

照片一经录用,稿酬从优。

投稿邮箱:xpwang@petrochina.com.cn;

垂询电话:0316-2170191。

油气储运杂志社