

# 超声-表面活性剂对原油降粘的实验研究

王阳恩, 邓胜华, 杨长铭, 周克厚

(江汉石油学院数理系, 湖北荆州 434102)

**摘要:** 本文研究了超声和表面活性剂对原油粘度的影响。当原油含水率不大时, 超声降粘主要是由于超声降解的作用, 但这种降粘效果不理想。掺入表面活性剂 SP-20 后, 在低含水率下, 原油未能形成水包油乳状液。当含水率为 50% 时, 掺入表面活性剂, 能使原油形成水包油乳状液。将超声与表面活性剂相结合, 能使原油形成的乳状液更稳定。

**关键词:** 超声; 表面活性剂; 原油; 粘度  
**中图分类号:** TB559      **文献标识码:** A

## Experimental investigation of reduced viscosity with ultrasonic irradiation and surface active agent on oil

WANG Yang-en, DENG Sheng-hua, YANG Chang-ming, ZHOU Ke-hou

(Department of Mathematics and Physics, Institute of Jianghan Petroleum, Jinzhou, Hubei 434102, China)

**Abstract:** The effect on oil viscosity with ultrasound and surface active agent is studied in this paper. The ultrasonic depolymerization is mainly reason to reduce viscosity in the low moisture content. But the ultrasonic depolymerization produces little effect. The oil-in-water emulsion cannot come into being in low moisture content when the surface active agent is mixed into the oil. When the moisture content is 50 percent, the emulsion can come into being by mixing surface active agent into the oil. The emulsion can be more stable with ultrasonic irradiation and surface active agent on the oil.

**Key words:** ultrasound; surface active agent; oil; viscosity

在原油开采中, 提高油井产量的途径通常有两种: 一是增加压差, 方法是增加供给压力或降低井底压力。另一种途径是提高地层的流动系数, 方法是通过各种措施提高地层的渗透率, 或者降低原油的粘度<sup>[1,2]</sup>。超声能降低原油粘度, 清除井筒中的结蜡和渗流孔道中的堵塞物, 提高渗透率<sup>[3]</sup>。因此, 可利用超声处理油层, 提高原油的采收率。但目前研究超声降粘效果时, 只是将超声直接作用于原油上<sup>[4]</sup>, 研究超声强度、频率、作用时间等对原油粘度的影响, 因而其降粘效果并不是很明显。

本文将超声与表面活性剂相结合, 研究在它们作用下, 原油粘度的变化情况。

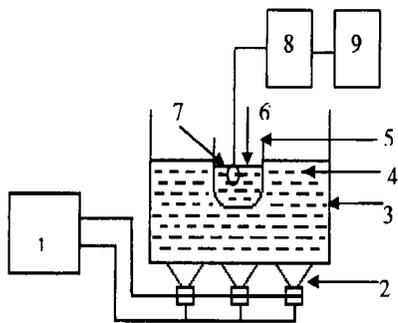
### 1 实验装置

实验装置如图 1 所示。H662B 型超声清洗机 (最大输出电功率是 2000W) 产生 25kHz 的信号, 装在清洗槽底的超声换能器将电信号转换成超声波。超声波经清洗槽槽底传播到槽内的水中, 再由水耦合, 传播到装在玻璃杯里的原油样品中。玻璃

杯按图 1 所示位置悬浮于水中, 玻璃杯的直径是 8cm。本文实验中, 超声强度的记录采用无量纲声强。因为原油含水率不同, 在原油内产生超声空化的声强也不同, 因此, 实验中以槽内玻璃杯中的水的声强记录声场的强弱。将锡箔放入水中, 令刚好使其腐蚀粉碎的声强定义为水的空化阈  $I_0$ , 设超声作用于水中的声强为  $I_1$ , 则无量纲声强为  $I' = I_1/I_0$ 。在不同的液体中超声空化阈值的大小不相同; 同一种液体中, 随温度、压力、含气量以及空化核半径的大小和分布的不同而不同。在本实验中, 测量声强的方法如图 1 所示, 用中科院武汉物理所研制的水听器接收声信号, 经 FDG-2 型放大器放大后, 由 GB-9B 型毫伏表测出其电压值。根据水听器的输出电压与作用于水听器上的声压之间的关系  $U = S \cdot P$  和公式  $I = P^2/\rho c$  得出测量点的声强。式中,  $U$  是水听器输出的电压值,  $S$  是水听器的接收灵敏度,  $P$  是作用于水听器上的声压,  $I$  是声强,  $\rho$  是液体密度,  $c$  是液体中的声速。在本实验条件下, 测出的  $I_0$  值为  $0.8W/cm^2$ 。实验中, 使用安装了恒温设备的 NDJ-79 型旋转式粘度计测量原油粘度。原油样品采自江汉油田, 其凝固点为  $29^\circ C$ ,  $31^\circ C$  时的密度为  $0.864g/cm^3$ , 含水率(体积)为 32%。

收稿日期: 2000-10-25; 修订日期: 2000-12-29

作者简介: 王阳恩(1967-), 男, 湖南人, 讲师, 硕士, 主要从事超声波在稠油开采输送中的应用研究。



1: H662B 超声清洗机; 2: 超声换能器; 3: 清洗槽; 4: 水;  
5: 玻璃杯; 6: 原油样品; 7: 水听器; 8: FDG-2 型放大器;  
9: GB-9B 型毫伏表

图 1 实验装置示意图

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 超声对原油的降粘

用玻璃杯装上原油样品 70ml, 按图 1 所示位置放好后, 轻轻摇动玻璃杯并加超声处理。其中, 清洗槽内的水温为 50℃, 超声作用时间为 3 分钟, 无量纲声强为 1.8<sup>[5]</sup>。超声作用后, 立即将 70ml 原油倒入粘度计的测量杯中测其粘度, 其结果如图 2 中的曲线 2 所示, 图 2 中的曲线 1 是未经任何处理的原油的粘度随温度的变化关系。从图 2 中可以看出, 对于含水率为 32% 的原油, 超声降粘的效果并不理想, 在温度是 60℃ 时的降粘率  $\gamma$  仅为 22.4%。其中, 降粘率  $\gamma = 1 - \eta_0 - \eta / \eta_0$ , 式中,  $\eta_0$  是未经处理的原油粘度,  $\eta$  是处理后原油的粘度。在低温端和高温端, 其降粘效果更不明显, 其结果与文献[4]中的结果有所差异。

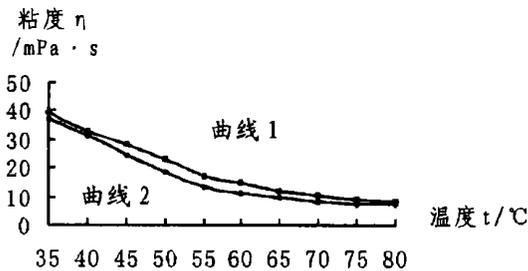


图 2 超声对原油的降粘效果

### 2.2 超声-表面活性剂对原油的降粘

在 70ml 原油中加入 2% 的 SP-20, 用棒以每秒 4 圈的速度搅拌 2 分钟后测其粘度。再将加入表面活性剂的原油放入超声场中处理, 测量其粘度, 结果如表 1 所示。其中, 超声处理时的条件不变。从表 1 可以看出, 原油加表面活性剂后, 其粘度有所下降, 60℃ 时的降粘率为 23%, 并且在高温和低温端的降粘率都相差不大。加入表面活性剂的原油再经超声处理后, 其粘度与超声处理前的粘度基本上相同。此时, 用显微镜观察, 可发现未经处理的原油形

成的主要是 W/O 型乳状液, 加入 SP-20 后没有改变其类型, 但其粘度有所下降, 超声对掺入 SP-20 的原油的粘度没有影响。

表 1 超声-表面活性剂对原油的降粘

温度(℃)	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
加入活性剂后的粘度(mPa·s)	6.2	7.2	7.8	9.0	11.3	13.5	17.5	23.0	28.5	32.0
超声-活性剂处理后的粘度(mPa·s)	6.1	7.4	8.5	9.6	11.3	13.2	16.7	22.3	28.5	32.2

### 2.3 超声对掺水原油的降粘

向原油内掺入自来水, 使其含水率达到 50%、55%、60%。将其加热至 50℃, 用棒以每秒 4 圈的速度搅拌 2 分钟后, 油水不能混合。取 70ml 含水率是 50%、55%、60% 的原油, 加超声处理, 处理后油水混合形成乳状液。超声处理时的条件仍不变。超声处理后的粘度测量结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出, 当原油含水率超过 50% 时, 经超声处理后, 原油形成的主要是 O/W 型乳状液。此时, 乳状液的外相是水, 因此其粘度大幅度降低, 且随温度的变化比较小。60℃ 时, 含水率是 50% 的原油的降粘率达到了 83%。但是, 此时形成的乳状液不稳定, 静置几分钟后, 油水分离, 此时如又用棒以相同的速度搅拌 2 分钟, 则仍可形成 O/W 型乳状液。

表 2 含水率是 50%、55% 和 60% 的原油经超声处理后的粘度

温度(℃)	80	75	70	65	60	55	50
粘度(含水 50%) (mPa·s)	2.0	2.3	2.5	2.5	2.5	2.7	2.8
粘度(含水 55%) (mPa·s)	2.0	2.3	2.3	2.5	2.5	3.0	3.0
粘度(含水 60%) (mPa·s)	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.2

根据文献[6], 乳状液的粘度  $\eta$  与外相粘度  $\eta_0$  及内相体积分数  $\varphi$  存在以下关系:

$$\eta = \eta_0 / [1 - \varphi^{1/3}] \quad (1)$$

取外相水的粘度为 0.5mPa·s (60℃), 则根据上式可得出含水率是 50%、55%、60% 时的粘度理论值 (60℃), 如表 3 所示。比较原油粘度的理论值与测量值, 在考虑仪器测量误差时, 可认为它们基本相符。

表 3 不同含水率的原油 60℃ 时的粘度值

含水率(%)	50	55	60
理论值(mPa·s)	2.4	2.1	1.9
经超声处理后的测量值(mPa·s)	2.5	2.5	2.2

### 2.4 表面活性剂对掺水原油的降粘

向原油内掺入自来水,使其含水率达到 50%,再往原油内加入不同浓度的 SP-20,用棒以上述相同的速度搅拌后,测量其粘度,结果如表 4 所示。再将 70ml 该原油放入超声场中处理。超声处理时的条件仍保持不变。超声处理后的原油粘度如表 5 所示。从表 4 可以看出,当原油含水率是 50% 时,掺入表面活性剂后,原油主要形成了 O/W 型乳状液,原油的粘度比较小,并且随温度的变化很小,因而在低温端降粘效果比较明显。如当表面活性剂浓度是 1% 时,50℃ 时的降粘率达到了 69.1%。在相同的条件下,表面活性剂的浓度越高,乳状液的粘度也越大,但其变化不是很大。原油再经超声处理后,其粘度有所下降,但下降很小,其粘度也随温度变化很小。此时,同样也存在:在相同的条件下,表面活性剂的浓度越高,乳状液的粘度也越大。将这两种乳状液静置,观察其稳定性,则超声处理后的乳状液油水基本不产生分离,其稳定性比未经超声处理的乳状液好。

表 4 掺水原油加入不同浓度表面活性剂后的粘度

粘度(mPa·s) 浓度(%)	温度(°C)						
	80	75	70	65	60	55	50
1	6.0	6.1	6.2	6.5	7.0	7.1	7.1
2	6.7	6.7	7.1	7.2	7.4	7.4	7.5
3	6.8	7.1	7.1	7.5	7.9	7.9	9.0

根据文献[6],乳状液的粘度  $\eta$  与外相粘度  $\eta_0$ ,内相体积分数  $\varphi$  及乳化剂浓度  $C$  之间存在如下关系:

$$\ln(\eta/\eta_0) = a \cdot C \cdot \varphi + b \quad (2)$$

式中,  $a$  与  $b$  都是常数。

取  $\eta_0 = 0.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  (60℃),  $a = 10$ ,  $b = 2.6$ , 则当乳化剂浓度  $C$  分别是 1%、2%、3% 时,对应于含水率是 50% 的 O/W 型乳状液的粘度理论值分别是 7.1、7.4、7.8 (mPa·s) (60℃),与表 4 中的实际测量值基本相符。

表 5 掺入原油经超声-表面活性剂处理后的粘度

粘度(mPa·s) 浓度(%)	温度(°C)						
	80	75	70	65	60	55	50
1	3.9	3.9	4.1	4.2	4.4	5.4	5.8
2	4.0	4.1	4.4	5.0	5.5	6.5	7.1
3	4.2	4.5	5.1	6.0	6.8	7.4	8.6

### 3 结论

超声对原油的降粘主要是由于超声降解和超声

乳化<sup>[7]</sup>。在声场中,当发生超声空化时,在空化产生的高温、高压作用下可使原油物质的分子键断裂,分子量减小,产生超声降解<sup>[8,9,10]</sup>,降低原油粘度。但是当声强不大时,这种降粘效果并不明显,这与本文中的实验结果相符;随着声强的增大,超声降解的降粘效果增强<sup>[4,9]</sup>。在本文中,其声强每平方厘米仅为几瓦,在这样小的声强作用下,超声降解的效果并不明显。对于含水率为 32% 的原油,在超声作用下,没有形成水包油乳状液,原油粘度的降低主要是因为超声降解的作用,但其降粘率不大。超声乳化则是将原油形成水包油乳状液,从而降低其粘度。这种降粘需要在一定条件下产生,但产生之后,其降粘效果比较明显。超声乳化降粘首先要求超声强度不小于超声空化阈值<sup>[5]</sup>,其次还要求原油含水率达到一定值。对于本文实验所给的原油,当其含水率为 32% 时,即使加入表面活性剂 SP-20,在超声作用下也未能形成水包油乳状液。当原油含水率超过 50% 时,加超声处理后,原油形成了 O/W 型乳状液,其粘度大幅度降低,但是这种乳状液不稳定。在含水率为 50% 的原油中加入表面活性剂 SP-20 后,用棒搅拌即可形成水包油乳状液,使原油粘度大幅度降低。该乳状液再经超声处理后,虽然原油粘度变化很小,但是经超声处理后的乳状液与处理前的乳状液相比,其稳定性提高了。

总之,原油的粘度要有较大幅度下降,可以通过使原油形成稳定的 O/W 型乳状液来实现。

参考文献:

- [1] 付亚荣,李振清,李冬清等.小断块稠油油藏提高采收率的方法[J].小型油气藏,1998,3(3):46-48.
- [2] G. E. Browne, G. R. Hass, R. D. Sell. Downhole Emulsification: Viscosity Reduction Increases Production[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 1996, 35(4): 25-31.
- [3] 洪建荣,秦永华,路斌.物理场在油田开发中的应用[J].石油钻采工艺,1994,16(3):90-92.
- [4] 海沙尔.超声降粘技术的室内试验研究[J].钻采工艺研究,1997,21(1):13-18.
- [5] 孙宝江,颜大椿,乔文孝.乳化原油的超声波脱水研究[J].声学学报,1999,24(3):327-331.
- [6] P. 贝歇尔.乳状液理论与实践[M].北京:科学出版社,1978. P62, P73.
- [7] 王阳恩,程衍富,凌向虎.超声波在稠油输送中的应用[J].油气储运,1999,18(4):10-11.
- [8] 孙仁远,严焱培.超声波对岩石渗透率影响的研究[J].石油钻采工艺,1996,18(1):101-103.
- [9] 黄序韬,梁淑寰.声波采油的机理与特点研究[J].石油学报,1993,14(4):110-116.
- [10] 洪建荣,秦永华,路斌等.物理场在油田开发中的应用[J].石油钻采工艺,1994,16(3):90-93.