

超声波原油破乳脱水的声场参数实验研究

虞建业 袁 萍 俞 力

(江苏石油勘探局石油工程技术研究院 扬州 225009)

1999 年 11 月 1 日收到初稿

2001 年 3 月 10 日收到修定稿

摘要 本文阐明了超声波原油破乳脱水基本原理。实验研究了超声场参数对脱水率的影响,其中,声强、辐照时间和频率是影响原油脱水率的主要因素,而间歇比、脉冲宽度为次要因素。对本实验系统而言,声场参数有一个最佳值或范围,声强 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$ 、频率 20kHz 、间歇比 8、脉冲宽度 9.7ms 、辐照时间 $5\sim 10\text{min}$ 。

关键词 超声波, 振动, 水“粒子”, 凝聚, 脱水率

Experiment study on the sound-field parameters for crude-oil dehydration by ultrasonic demulsification

Yu Jianye Yuan Ping Yu Li

(Institution of Petroleum Engineering & Technology, Jiangsu Oil Exploration Bureau, Yangzhou 225009)

Abstract The basic principle of crude-oil dehydration by ultrasonic demulsification is elucidated. Effects of the ultrasonic-field parameters on the crude-oil dehydration rate are experimentally studied as well. It was focused from the experiments that the acoustic intensity, time of irradiation and frequency are the primary factors which affect the dehydration rate, while the ratio of intermittent and pulse duration are the secondary factors. In this experimental system, the optimum acoustic intensity, frequency, ratio of intermittence, pulse duration and time of irradiation are $0.65\text{W}/\text{cm}^2$, 20kHz , 8, 9.7ms and $5\sim 10\text{min}$, respectively.

Key words Ultrasonic wave, Vibration, Water“particle”, Agglomeration, Dehydration rate

1 引言

油藏的注水开发使油田产液量增加,但化学驱油技术使产出液原油乳化程度提高,含水稠油乳化严重,诸多因素造成常规脱水工艺脱水困难。利用超声波物理作用能增加原油破乳

脱水动力,以提高脱水装置的处理量及降低脱水后原油含水。该项技术越来越引起科技工作者的高度重视。美国 TeKsonix 公司超声波原油脱水处理装置及工艺,从 1982 到 1985 年分别在美国的 8 家工厂进行工业试验,均取得了良好的效果^[1]。本文在室内研究条件下,探索超

声场参数对原油脱水率的影响及其一般规律,以期使该技术尽早实现工业化试验与应用。

2 基本原理

超声波具有机械振动、空化及热作用,理论推导和可视化试验证明超声波破乳脱水的声强必须在空化阈以下^[2],因此,超声波原油破乳脱水主要是利用超声波的机械振动作用和热作用,这些作用的原理可能如下:

(1) 机械振动作用促使水“粒子”凝聚。当超声波通过有悬浮水“粒子”的原油介质时,造成悬浮水“粒子”与原油介质一起振动。由于大小不同的水“粒子”具有不同的相对振动速度,水“粒子”将相互碰撞、粘合,使粒子的体积和重量均增大,最后沉降分离。

(2) 机械振动作用可使原油中的石蜡、胶质、沥青质等天然乳化剂分散均匀,增加其溶解度,降低油—水界面膜的机械强度,有利于水相沉降分离。

(3) 热作用降低油—水界面膜强度和原油粘度。一方面,边界摩擦使油—水分界面处温度升高,有利于界面膜的破裂。另一方面,原油吸收部分声能转化成的热能,可降低原油的粘度,有利于水“粒子”的油—水的重力沉降分离^[3]。

3 实验部分

3.1 实验仪器及基本条件

实验仪器有电功率为 1kW 的超声波装置、超级恒温水浴锅、电动搅拌器、1000mL 量筒、5000mL 烧杯、原油含水测定仪、水听器、Tektronix 公司 TDS220 型示波器等。试验油样为 w/o 型乳状原油,含水 20%。试验油样体积均为 800mL。恒温水浴、恒温沉降脱水温度均为 55°C。

3.2 实验用脉冲超声波形

频率 20kHz、25kHz,占空比 1:1,脉冲宽度 5–12.5ms,间隙比 3–8,其波形如图 1。

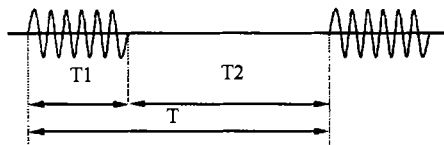


图 1 超声波波形示意图

T1: 脉冲宽度, T/T1: 间隙比

3.3 实验方法及步骤

实验方法:采用类似于化学破乳剂评选的瓶试法^[4]。

实验步骤:将分离出游离水的油样放入恒温水浴锅中加热到易流动状态,然后用搅拌器对其搅拌,使其内部含水量均匀分布,并分成若干等份,置于 55°C 的恒温水浴锅中,同时取样测定该原油乳状液的含水率。将盛有试样的烧杯从恒温水浴锅中取出,置于另一 55°C 的恒温水浴锅中,使用脉冲超声波对原油试样进行辐照处理。将处理过的原油试样倒入量筒内,置于 55°C 的恒温水浴锅中静置沉降 6 小时后观察其脱水水量。

4 实验结果与讨论

4.1 声强

超声强度决定水“粒子”凝聚速度。声强增强,水“粒子”位移振幅加大,碰撞、粘合的机率增大,从而提高水“粒子”凝聚速度。声强与振幅关系表达式^[5]如下:

$$I = 2\pi^2 \rho c f^2 V_m^2 \times 10^{-7} \quad (1)$$

式中, I—声强 (W/cm²); ρ —水密度 (g/cm³); c—声速 (cm/s); f—频率 (Hz); V_m —振幅 (cm)。通常若要水“粒子”凝聚,声强必须有个临阈级,超过此值才能使水“粒子”凝聚,加速水“粒子”沉降分离^[6]。

从图 2 可看出,随着声强的增强,原油脱水率也随之变化。声强小于 0.35W/cm² 时,水“粒子”的位移振幅较小,起不到破乳作用。声强 0.35–0.65W/cm² 时,原油脱水率随着

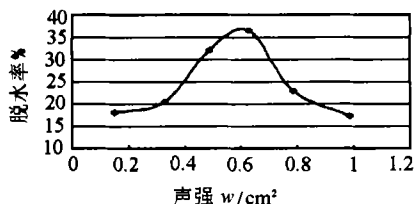


图2 声强 - 脱水率关系曲线

脉冲宽度: 11.2ms 间歇比: 3

频率: 20kHz 辐照时间: 10min

声强的增强而增加。声强为 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$ 时脱水率最高, 脱水率达到 36.4%。声强 $0.35\text{W}/\text{cm}^2$ 时为水“粒子”凝聚的临阈值。当声强大于临阈值而增加到 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$ 时, 脱水率随声强的增强而提高。由于超声波破乳脱水声强必须在空化阈值以下, 当声强值大于 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$ 时, 可能使原油产生空化作用, 声强越强, 搅拌越快, 凝聚后的水“粒子”被重新分散, 产生新的乳化, 并且随着声强的进一步增强, 这种乳化的趋势增大, 使得原油破乳脱水率降低。实验表明破乳脱水声强应为 $0.35\text{--}0.65\text{W}/\text{cm}^2$, 最佳声强为 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$ 。

4.2 频率

超声波在液体媒质中传播, 其强度 I 将随传播距离 X 的增加而逐渐减小, 减小的快慢程度由传声媒质的超声衰减系数 α 来表征^[7]:

$$I = I_0 e^{-2\alpha X} \quad (2)$$

$$\alpha = \left\{ \frac{2\pi^2}{\rho c^3} \left[\frac{4}{3}\eta + \eta_b + \kappa \left(\frac{1}{C_v} - \frac{1}{C_p} \right) \right] \right\} f^2 \quad (3)$$

式中, I_0 —声源辐射的声波强度; I —超声波传播到距超声源 X 时的声波强度; X —传播距离; ρ —原油密度; c —声速; η —原油切变粘滞系数; η_b —原油容变粘滞系数; κ —热传导系数; C_v —原油定压比热; C_p —原油定容比热; f —超声波频率。

式(2)、(3)表明: 对于一定温度的原油, 超声波的衰减与频率的平方成正比, 超声波的频率越低, 衰减越慢, 破乳声场越均匀, 这不但有利于原油破乳, 而且, 在相同声强条件下相对低的频率可增大超声波破乳的有效幅照距

离。式(1)表明: 对于声场中某点在相同声强条件下降低频率, 可提高水“粒子”位移振幅, 有利于水“粒子”凝聚。上述分析表明: 超声波原油破乳脱水应使用低频超声场, 而 Kotyusov^[8]从理论上导出声波的频率对水“粒子”凝聚有影响, 并导出水“粒子”在超声波作用下产生凝聚的最佳频率约在 21–25kHz 以内。综合超声波的衰减与产生水“粒子”最佳凝聚频率这两方面因素, 超声波破乳脱水频率可以略低于 21kHz, 以获得最佳脱水效果。频率为 20kHz 和 25kHz 的对比试验表明: 在同等声强和波形条件下, 频率为 20kHz 时原油脱水率为 45%, 而频率为 25kHz 时原油脱水率为 36%。因此, 使用 20kHz 的低频超声进行破乳脱水是较为理想的。

4.3 间歇比、脉种宽度

在脉冲超声波作用于原油时, 不同的间歇比和脉冲宽度对原油的破乳脱水率也有一定的影响。

图 3 表明: 间歇比为 6–8 时原油的脱水率较高, 并且, 间隙比为 8 时脱水率最高达到 54.3%。

图 4 表明: 在频率 20kHz, 占空比 1:1, 声强 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$ 超声辐照作用下, 原油脱水率随超声脉冲宽度变化呈现峰值。脉宽从 5ms 增加到 9.7ms, 脱水率从 44.6% 上升到 52.8%。当脉宽继续增加到 12.5ms 时, 脱水率却没有继续上升, 而是下降到 37.6%。脉宽 9.7ms 时原油脱水率达到最高值 52.8%。脉宽从 5ms 增加到 9.7ms 时脱水率也逐步提高, 并达到最大值。间歇比和脉冲宽度对原油的破乳脱水率具有一定的影响, 影响的原因还有待进一步研究。

4.4 超声辐照时间

在超声辐照作用下, 小的水“粒子”相互碰撞、粘合变成相对大的水“粒子”, 相对大的水“粒子”又开始新的碰撞、粘合, 直到水“粒子”的直径足够大以至其不随超声振动为止, 这需要一个时间过程。

从图 5 可看出, 随着超声波辐照时间的延

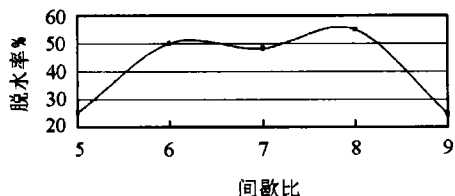


图3 间歇比 - 脱水率关系曲线

脉冲宽度: 11.2ms 声强: $0.65\text{W}/\text{cm}^2$
频率: 20kHz 辐照时间: 10min

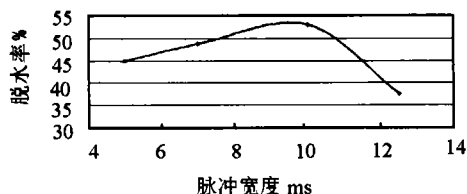


图4 脉冲宽度 - 脱水率关系曲线

间歇比: 8 声强: $0.65\text{W}/\text{cm}^2$
频率: 20kHz 辐照时间: 10min

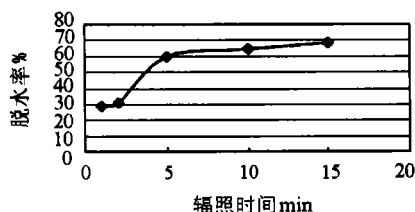


图5 辐照时间 - 脱水率关系曲线

间歇比: 8 声强: $0.65\text{W}/\text{cm}^2$
频率: 20kHz 脉冲宽度: 9.7ms

长,原油脱水率逐步提高,并趋于饱和。辐照时间延长到5min,脱水率达到59.5%,脱水速度快。辐照时间大于5min,脱水率提高的幅度减小。从脱水速度和脱水率来考虑,辐照时间5-10min较为合理。一般情况下,延长辐照时间,超声波的热能作用加强。由于辐照时间较短,其热能作用较小,因此,对水“粒子”聚结、沉降分离的影响较小,超声波的热能作用可不考虑。

在一定范围内的声强作用下,水“粒子”才产生凝聚效应;水“粒子”的凝聚、沉降必须有一个时间过程;频率对水“粒子”产生最佳凝聚效应有较大的影响,声强、辐照时间和频率是影响原油脱水率的主要因素。一定的脉冲宽度、间歇时间有利于进一步提高原油脱水

率,但对脱水率的影响不起决定性作用,因而是次要的因素。影响原油脱水率的因素还有压强、温度、油品性质等,但这些因素的影响都是间接的。压强的增加使超声空化阈值增大;温度的增加使超声空化阈值减小;油品性质影响超声波在油中的衰减,从而影响使用频率的选择。对于不同的试验系统,由于压强、温度等诸多因素的影响,声强、辐照时间等参数将发生变化,但试验研究的方法和影响原油破乳脱水率的主、次要因素估计与本文是一致的。

5 结论

(1) 超声波原油破乳脱水基本原理主要是利用超声波的机械振动与热作用。机械振动作用促使水“粒子”凝聚、油-水界面膜破裂、天然乳化剂分散均匀,以利于水相沉降分离。

(2) 使用超声辐照原油能够提高破乳脱水率,相同样品的对比试验研究表明:声强、辐照时间和频率是影响破乳脱水率的主要因素,而间歇比,脉冲宽度为次要因素,对本试验系统而言,其最佳值或范围是:声强为 $0.65\text{W}/\text{cm}^2$;频率为 20kHz;间歇比 8;脉冲宽度 9.7ms;辐照时间 5-10min。

(3) 对于不同的试验系统由于诸多因素的影响,声场参数将发生变化,但试验研究的方法和影响原油破乳脱水率的主要、次要因素与本文是一致的。

参 考 文 献

- 1 刘锦升. 石油化工, 1990, 19(10): 707.
- 2 付静, 孙宝江, 温志刚. 石油钻采工艺, 1999, 21(4): 71.
- 3 张鸿仁. 油田原油脱水. 北京: 石油工业出版社, 1990. 52-60.
- 4 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T5581-93.
- 5 冯若. 超声手册. 南京: 南京大学出版社, 1999. 23-24.
- 6 袁易全. 近代超声原理与应用. 南京: 南京大学出版社, 1996. 118.
- 7 冯若, 李化茂. 声化学及其应用. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1992. 14-16.
- 8 Kotyusov. Acoustica, 1996, 82: 459-463.

20 卷 3 期 (2001)