

无机盐浓度对微波破乳机理的影响

孙娜娜¹ 李海鹏² 蒋华义¹ 张芳¹

1 西安石油大学石油工程学院 2 青海油田勘探开发研究院

摘要：以 Na_2SO_4 为例，对比实验结果，结合微波作用下油滴的数学模型，从加不同浓度的盐后对乳状液界面膜的强度、温度的影响来分析无机盐促进微波破乳的机理。分析结果表明：加盐后乳状液的变形量随着浓度的增加而增大，从而导致表面积增大，促使界面膜的厚度减小，降低界面膜的机械强度，进而有利于破乳；因为盐是极性电解质，故随着盐浓度的增加，偶极子极化加剧，微波耗散功率密度也随之增大，进而转化的热能增多，最终促使温度上升，连续相黏度降低，从而促进破乳，最终提高除油率。

关键词：无机盐；微波；介电常数；乳状液；破乳

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2013.1.015

为了进一步促进油水分离，使含油污水达到排放标准，实验室采用了无机盐辅助微波处理含油污水。实验结果表明，这一方法的效果明显优于单一微波处理含油污水的效果。本研究以 Na_2SO_4 为例，对比实验结果，结合微波作用下油滴的数学模型，从加不同浓度的盐后对乳状液界面膜的强度、温度的影响来分析无机盐促进微波破乳的机理。

1 Na_2SO_4 浓度对微波破乳效果的影响

研究 Na_2SO_4 的浓度对微波破乳效果的影响时，将微波功率设定为 450 W，辐射时间为 30 s。为方便实验结果分析， Na_2SO_4 浓度取相同步长，观察实验现象及静置过程中水样的变化。

从实验结果可以看出， Na_2SO_4 浓度对除油率影响较大。在浓度为 0.06 mol/L 时，除油率仅 53.34%；而在浓度为 0.14 mol/L 时，除油率达到 95.58% 以上；当浓度继续增加时，除油率相对而言比较低。这是因为浓度在 0.06 ~ 0.14 mol/L 这一稍大变化范围内，随着浓度增加，自由移动的离子数增多，吸收微波能力增强；而浓度过大时，体系吸收微波能过多，破坏了原油结构，从而不利于破乳。故在浓度大于 0.14 mol/L 后，除油率随浓度增加而下降。

因此，合理地选择无机盐的浓度，才能充分体现微波处理含油污水的高效性。而在不同浓度范围内无机盐促进破乳的机理也不同，下面就结合油滴模型，从界面膜强度、温度这二个角度具体分析 Na_2SO_4 浓度在 0.06 ~ 0.14 mol/L 范围内促进微波破乳的机理。

2 Na_2SO_4 浓度促进微波破乳的机理

研究表明，水包油型乳状液在未受微波作用时，内相油滴特别是小油滴在静止状态下呈球形。因本文研究微波破乳，而乳状液在微波辐射下必然发生变形。张建等^[1]发现油水乳状液中油滴在高压静电场作用下被拉长，呈近似绕轴方向旋转的椭球体，根据张建的理论，建立椭球体油滴模型。为便于研究提出以下假设：乳状液中的油滴是不可压缩的；在外力作用下，油滴变形后呈绕长轴旋转的椭球体。油滴的椭球状模型如图 1 所示。

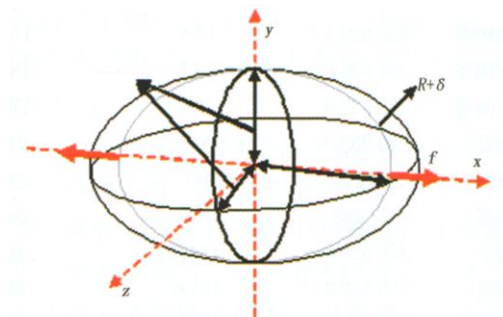


图1 油滴的椭球状模型

油滴在电磁场力 f 作用下沿着 x 轴方向有变形 δx ，由假设可知，在 y 轴、 z 轴方向上也有相同的变形 $-k\delta x$ ，考虑到不可压缩流体，油滴在变形过程中体积不变，则

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi(R + \delta x)(R - k\delta x)^2 \quad (1)$$

根据假设知 $k < 1$ ，且又因为 $R \gg \delta x$ ，略去无穷小量，解出

$$k = \frac{1}{2} \quad (2)$$

所以，油滴沿着 x 、 y 、 z 方向上的变形分别为



$R+\delta x$ 、 $R-\frac{1}{2}\delta x$ 和 $R-\frac{1}{2}\delta x$ 。下面就结合建立的椭球状数学模型具体分析无机盐促进微波破乳的机理。

2.1 微波辐射下 Na_2SO_4 浓度对界面膜强度的影响

由于空气与水与盐水的介电参数不同,所以微波在空气、水、盐水中产生的电场强度也不同,关系式为^[2]

$$E_i = \frac{\epsilon}{\epsilon_i} E \quad (3)$$

式中 E_i 为微波在 i 介质中产生的电场强度; ϵ_i 为 i 介质的介电参数; E 为微波在空气中产生的电场强度; ϵ 为空气的介电常数, $\epsilon=1$ 。

各种电解质水溶液的复等效介电常数计算模型^[3]为

$$\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} - \sum_i (\alpha_i \mu_i + \beta_i \nu_i) C(X_i) \quad (4)$$

式中 $C(X) = bX^a$, 为一个和浓度相关的函数,称为等效浓度; a 、 b 为参数; ϵ_{eff} 为电解质溶液的复等效介电常数; X_i 为电解质溶液中第 i 种电解质的浓度; μ_i 和 ν_i 分别为第 i 种电解质中阳离子和阴离子对水的介电常数的影响因子; α_i 和 β_i 分别为阳离子和阴离子的化合价。

在 2 450 MHz 和 9 时, $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 82.709 - 14.929j$, $a=0.930$ $b=53.508$, Na^+ 的 μ 表达式为 $\mu=0.220+0.180j$, SO_4^{2-} 的 ν 表达式为 $\nu=0.192+0.413j$ 。

把以上参数代入式 (4) 计算出不同浓度下介质的复等效介电常数,进一步确定出介电常数 ϵ_{eff} 和损耗因子 ϵ_{eff}'' (ϵ_{eff} 为电解质溶液的复等效介电常数的实部, ϵ_{eff}'' 为电解质溶液的复等效介电常数的虚部),再结合式 (3) 分别计算出微波在不同浓度的 Na_2SO_4 介质中产生的电场强度 E' 。 $E' = nE_1$ ($n = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_i}$; E_1 为微波在水中产生的电场强度)。

又因为不加盐时,油滴的变形量为 δx ,如式 (5) 所示。

$$\delta x = \frac{f}{\sqrt{[4\gamma - (1 + C_m)R^3\rho\omega]^2 + (3R\mu\omega)^2}} \sin \omega t \quad (5)$$

故可得 $\delta x' = n\delta x$

不加盐时乳状液的表面积为

$$\begin{aligned} A &= 4\pi(R+\delta x)\left(R-\frac{1}{2}\delta x\right) \\ &= 4\pi(R^2+0.5R\delta x-0.5\delta x^2) \end{aligned} \quad (6)$$

因为 $R \gg \delta x$, 故略去高阶无穷小量 δx^2 , 得

$$\Delta A = 2(n-1)\pi R\delta x = n'\pi R\delta x, \text{ 其中}$$

$$n' = 2(n-1) \quad (7)$$

由 (7) 可得加盐后的面积增量。在 Na_2SO_4 浓度为 0.06 ~ 0.14 mol/L 时,随着浓度的增大,界面膜的表面积增大,从而使界面膜的厚度减小,降低界面膜的机械强度,最终有利于破乳。

2.2 微波辐射下 Na_2SO_4 浓度对乳状液温度的影响

微波加热就是利于介质损耗把电磁能转变成热能的,偶极子转向极化引起的损耗是所有损耗中最重要的形式,故无机盐作为极性电解质,加入乳状液中必然会引起偶极子极化加剧。

介质颗粒的微波耗散功率密度公式为

$$P = \frac{1}{2} \omega \epsilon_0 \epsilon'' |E|^2 \quad (8)$$

其中 P 为介质中的微波耗散功率密度; ω 为微波频率; ϵ_0 为真空中的介电常数, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ (f/m); ϵ'' 为介质的介电损耗; E 为介质的电场强度。

结合 Na_2SO_4 浓度对分离处理效果的影响结果可知,损耗因子和电场强度都随浓度增加而增大,所以微波耗散功率密度也随之增大;根据能量守恒可知,转化的热能也随之增加,进而促使温度的上升,最终导致连续相黏度降低,界面膜遭到破坏,从而促进油水分离。

3 结语

本研究以 Na_2SO_4 为例,对比实验结果,结合建立的椭球状油滴模型,分别从界面膜强度及热场角度分析无机盐浓度促进微波破乳的机理。加盐后乳状液的变形量随着浓度的增加而增大,从而导致表面积增大,促使界面膜的厚度减小,降低界面膜的机械强度,进而有利于破乳;因为盐是极性电解质,故随着盐浓度的增加,偶极子极化加剧,微波耗散功率密度也随之增大,进而转化的热能增多,最终促使温度上升,连续相黏度降低,从而促进破乳,最终提高除油率。

参考文献

- [1] 张建,董守平,日琴容.高频脉冲电场作用下乳状液液滴动力学模型[J].化工报,2007,58(4):875-880.
- [2] 毛燎原,李萍,张起凯,等.NaCl 存在下微波辐射高稠原油脱水研究[J].化工科技,2006,14(3):9-11.
- [3] 杨晓庆,黄卡玛.一种新的微波频率下混合电解质水溶液复等效介电常数的计算方法[J].电子学报,2006,34(2):356-360.

(栏目主持 杨 军)

