

平挂电极式电脱水器静电聚结特性的实验研究

吴宗强¹ 吕宇玲¹ 何利民¹ 田成坤²

1 中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院 2 中国石油规划总院

摘要: 电脱水器由于能耗低、效率高,是目前应用范围最广的油水分离设备。设计并制作了一种平挂电极式电脱水器的实验评价装置,主要针对电脱水器的静电聚结特性进行研究。通过室内实验,分析电场强度、电场频率、含水率、温度4个因素对聚结特性的影响。实验结果表明:电场强度是影响静电聚结的主要因素,增加电场强度有利于油水分离;高于水滴破裂场强后,发生电分散现象,水滴破裂场强随温度及含水率的升高而变小;水滴聚结存在最优的频率,最优频率会因油品性质的不同而变化。

关键词: 原油;平挂电极;电脱水器;静电聚结;电场强度

doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2015.11.006

目前,我国绝大部分油田采用注水开发方式开采石油,世界原油产量90%以上需要进行脱水处理。与重力法、离心法、化学处理法、热处理法相比,静电脱水能在较低温度下破乳且处理量大,净化后的原油含水率低,设备结垢、腐蚀的倾向小^[1-2],电脱水器因其能耗低、效率高、适用范围广而成为油田中应用最普遍的油水分离设备^[3]。因此,研究电脱水器中水滴的聚结特性,筛选出针对不同性质油水乳状液的最优运行参数,提高电脱水器的聚结效率、分离效率和稳定性,降低能耗,能够为油田电脱水设备的生产运行提供参考。

1 原理分析

油、水的电导率差别很大,当油水乳状液置于高压电场时,电场力削弱了水滴的界面膜强度,促进水滴有效碰撞,使微水滴聚结成大水滴。Waterman^[4]等给出了交流电场下两个水滴偶极-偶极力大小的公式

$$F_E = \frac{3kE^2 R_1^3 R_2^3 (2 \cos^2 \beta - \sin^2 \beta)}{D^4} \quad (1)$$

式中 F_E 为电场力(N); E 为电场强度(V/m); R 为水滴半径(m); β 为电场线与水滴中心连线的夹角($^\circ$); D 为水滴中心间距(m); k 为常数。

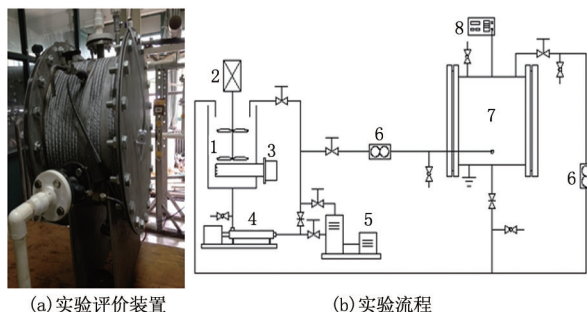
由公式(1)可知,外加电场强度越高,两水滴的半径越大,水滴之间距离越小,水滴所受的电场力越大。经验证明,水滴间距在2~3倍水滴直径时趋于聚结,且多数情况下,当 $E \geq 480$ kV/m

时,容易发生电分散^[4]。

2 实验系统和实验介质

2.1 实验系统

我国各大油田普遍采用卧式圆筒形电脱水器,为此,研究设计了一种平挂电极式电脱水器的实验评价装置,平挂式电极位于评价装置中上部,实验系统如图1所示。油水乳状液经过防爆电加热器加热到指定温度后,经过双螺杆泵、在线乳化仪的剪切作用,实现乳状液的制备。通过改变双螺杆泵的转速(达到目标流量后),使油水乳状液进入实验评价装置。在实验评价装置内,乳状液自下而上流动,在外加电场作用下,微水滴有效聚结成大水滴,大水滴从乳状液中沉降出,低含水的油水乳状液经过上部汇集管汇集后流回保温罐,沉降出的水经过下端出水口流回保温罐。油水乳状液重新混合乳化均匀后,进行下一工况实验。



1-保温夹套储罐; 2-搅拌器; 3-防爆电加热器; 4-双螺杆泵; 5-在线乳化仪; 6-质量流量计; 7-实验评价装置; 8-高压可控电源

图1 实验系统



2.2 实验介质

采用2种不同性质的A原油和B原油,与自来水混合后制成不同含水率的油水乳状液作为实验介质。实验油品的物性参数见表1。

表1 油品物性参数 (50 °C)

油品	黏度/mPa·s	密度/kg·m ⁻³	相对介电常数	电导率/S·m ⁻¹
油品A	494.1	944.1	3.50	2.3×10 ⁻⁸
油品B	367.9	912.1	4.17	1.6×10 ⁻⁸

2.3 数据处理方法

使用单反相机、显微镜拍摄不同工况下水滴粒径照片,然后使用Image-Pro Plus图像处理软件,对水滴粒径照片进行处理并分析。本文采用Sauter平均直径 D_{32} ^[5]来描述不同工况下的水滴粒径变化。

$$D_{32} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (2)$$

3 实验结果及分析

主要从电场强度、电场频率、温度、含水率4个因素来研究平挂电极式电脱水器的聚结特性。

3.1 电场强度的影响

从含水率20%的A油品乳状液水滴粒径随电场强度的变化可知,未加电场时,油水乳状液中水滴粒径较小,分布均匀,且微水滴数量多。电场强度为84 kV/m时,水滴开始呈现明显变化,微水滴数量减小,水滴粒径明显增大。随着电场强度的增加,大水滴数量逐渐增加,粒径逐渐增大,当电场强度达到335 kV/m时,开始出现粒径超过250 μm的大水滴。电场强度继续增大,水滴粒径超过250 μm的大水滴数量不再变化,而微水滴数量继续减小。这是因为此时油水乳状液中大水滴受到的电场力已不能克服水滴的黏滞阻力与界面张力,不再发生有效碰撞,但对于微水滴,电场力依然起作用,因此微水滴数量继续减少^[6]。

从不同含水率下水滴粒径随电场强度的变化可知,含水率10%、20%时,随着电场强度的增大,水滴粒径呈增大的趋势。这是由于含水率较低时,

水滴粒径小且水滴间距相对较大,根据公式(1),水滴需要更高的电场强度才能克服黏滞阻力与界面张力的影响,发生有效聚结^[7]。含水率30%时,水滴粒径随着电场强度的增大迅速增大,电场强度高于427 kV/m后,电场力使得水滴的扭曲变形过大,界面张力无法使变形恢复,导致部分水滴破裂成小水滴,出现电分散现象,降低了分离效率,使原油脱水效果恶化。当电场强度不足以使液膜破裂时,水滴会沿电场力方向排列成链,引起电流过大从而击穿电极板。因此,电脱水器运行时,应将电场强度严格控制在液膜破裂电场强度与水滴破裂电场强度之间。相同含水率下,B油品乳状液的聚结效果优于A油品乳状液。这是因为A油品的电导率高于B油品,相同条件下,作用于A油品乳状液的有效电场强度小;且相同温度下A油品的黏度更大,流动性比B油品差,水滴在A油品乳状液中所受的黏滞阻力大,不利于有效聚结。

3.2 频率的影响

图2为电场强度为335 kV/m,含水率为5%、10%、20%的A油品、B油品乳状液中水滴粒径随电场频率的变化曲线。目前,交流电场中频率对水滴聚结特性影响的研究较少,本研究通过加密实验点的方法来考察频率的影响。从图2可知,含水率5%、10%时,随着电场频率的增加,低频下水滴粒径先增大后减小,高频下基本不再变化。含水率20%时,低频下水滴粒径随电场频率的增大而增大,高频下基本保持不变。油水乳状液存在最优聚结频率,且最优频率随油品性质不同而变化。含水率5%、10%时,A油品、B油品乳状液的最优聚结频率在50 Hz附近;含水率20%时,A油品乳状液的最优聚结频率在75 Hz附近,B油品乳状液的最优聚结频率在100 Hz附近。这是由于水滴的极化作用随电场频率的增加而增强,极化作用力增大,水滴的靠近时间相应减小。此外,当电场频率逐渐接近水滴的固有频率时,水滴发生共振,此时水滴振幅增大,界面膜强度减弱,微水滴更容易破裂和聚

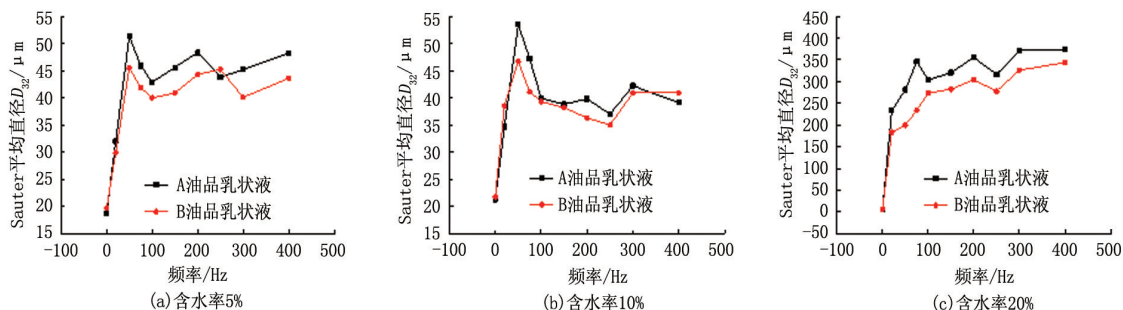


图2 不同含水率时水滴粒径随电场频率的变化



并,从而发生有效的沉降,分离效率增大;超过这个频率后,水滴共振作用减弱,聚结效果相应变差。

3.3 含水率的影响

图3为电场频率为50 Hz,含水率为10%、20%、30%时A油品乳状液水滴粒径随电场强度的变化曲线。从图3可以看出,油水乳状液的水滴粒径随电场强度的增大先快速增长,达到一定电场强度后增速放缓。含水率10%、20%时增长趋势基本相同,电场强度达到335 kV/m后水滴粒径基本不再变化。含水率30%时水滴粒径增速明显高于低含水率时水滴粒径增速,增速放缓时的电场强度为248 kV/m,当电场强度大于335 kV/m时,发生电分散现象。含水率提高时,水滴初始粒径变大,水滴间距变小,水滴之间的碰撞概率增大,根据公式(1),相同条件下水滴所需的聚结场强变小,因此增速放缓电场强度会随着含水率升高而变小。但含水率升高使得油水乳状液黏度增大^[8],同时增大了电导率,导致作用于油水乳状液上的有效电场强度变小;水滴的扩散系数也会随着含水率的升高而减小,导致聚结速度与碰撞频率降低,使得分离效率降低。

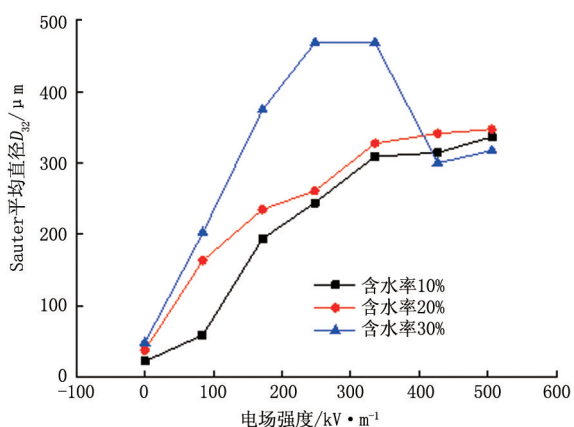


图3 含水率对水滴聚结特性的影响

3.4 温度的影响

从温度对水滴聚结特性的影响曲线可知,随着温度的升高,水滴粒径呈增大的趋势,且发生电分散的电场强度随温度的升高而变小。50、60、70℃下水滴破裂电场强度分别为427、335和248 kV/m。温度升高,油水乳状液的稳定性降低^[9]。首先,温度升高使原油中的主要乳化剂(胶质、沥青质等)在原油中的溶解度增大,削弱水滴界面膜强度,有助于破乳剂的弥散,提高破乳剂的反应能力^[10]。其次,温度升高会使油水乳状液中水滴体积膨胀,使水滴界面膜变薄,机械强度降低,而且由于油水的体积膨胀系数不同,温度升高后油水的密度差增大,水滴更容易沉降出来。此外,温度升高会降低油水乳状液的黏度,沉降过程中水滴所受的黏滞阻力变小,

沉降速度加快。但过高的温度除使能耗增高外还会使原油的电导率增大,运行过程中的电流增大,造成电脱水器运行不稳定。

4 结论

(1) 电场强度是影响静电聚结的主要因素。在水滴破裂之前,电场强度越高,聚结效果越好;聚结过程存在水滴粒径增速变缓电场强度,含水率为10%、20%时,A油品乳状液增速变缓电场强度为335 kV/m;含水率为30%时,增速变缓电场强度为248 kV/m。

(2) 聚结过程存在最优聚结频率。含水率为5%、10%时,A油品、B油品乳状液的最优聚结频率在50 Hz附近;含水率为20%时,A油品的最优聚结频率在75 Hz附近,B油品乳状液的最优频率在100 Hz附近。

(3) 温度和含水率越高,越容易发生电分散现象。50、60和70℃下,A油品乳状液水滴破裂电场强度分别为427、335和248 kV/m,电脱水器实际运行时,应将场强严格控制在水滴破裂电场强度以下。

参考文献

- [1] 白志山,汪华林,唐良瑞. 原油脱盐脱水技术评述[J]. 化工机械, 2004, 31 (6): 384-387.
- [2] JOHN S E, GHADIRI M, SHARIF A O, et al. Electrostatic enhancement of coalescence of water droplets in oil: a review of the current understanding[J]. Chemical Engineering Journal, 2001 (84): 173-192.
- [3] 冯叔初,郭拔常. 油气集输与矿场加工[M]. 东营: 中国石油大学(华东)出版社, 2006: 309-319.
- [4] WATERMAN L C. Electrical coalescers[J]. Chemical Engineering Progress, 1965, 61 (10): 51-57.
- [5] ANUELIP, HEWITT G F. Drop size distributions in horizontal oil-water dispersed flows[J]. Chem Eng Sci, 2000, 55 (16): 3133-3143.
- [6] 于春健,于才渊. 液滴在高压静电场中分散现象的实验研究[J]. 高校化学工程学报, 2005, 19 (2): 278-281.
- [7] 杨东海,何利民,罗小明,等. 新型静电聚结器中水滴聚结特性研究[J]. 高校化学工程学报, 2012, 26 (2): 222-227.
- [8] 何兆洋. 紧凑型静电聚结器结构实验研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院, 2009.
- [9] 张帆,王福宾,张石兴. 油水乳状液性质及影响因素[J]. 油气田地面工程, 2005, 24 (12): 2-3.
- [10] 刘娟,赵亚溥,胡斌,等. 油水乳状液的稳定机理及其化学破乳技术的研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32 (4): 891-897.

[第一作者简介] 吴宗强: 在读硕士研究生, 研究方向为油气水多相流与多相分离。

15689131529、sd07122314@163.com。

收稿日期 2015-09-16

(栏目主持 杨 军)

