

# 乳化油的介电常数特性和含水量的监测

孙耀秋 袁文昌 张镜澄

(中国科学院东海研究站)

本文叙述了油包水型乳化油含水量测量的基本原理、实验装置和测量结果。水和油的介电常数不同,因而测量置于乳化油中两电极间的电容能确定乳化油的含水量。乳化油稳定性测量仪可以测量乳化油的沉降过程。利用乳化油含水量监视仪在乳化油的输送管道中置一对电极即可得到含水量随时间变化的记录,在管道中乳化油在常温范围内对测量结果无影响。测量误差在乳化油稳定性测量仪中为3%,在乳化油含水量监视仪中为2.5%

## 一、前言

柴油掺水后,经过超声乳化处理所制备的具有一定水珠尺寸的油包水型乳化油供柴油机使用,可以达到改善燃烧过程,节约用油的目的。实验表明乳化油的掺水量和节约率之间有一定的关系,在工况不变,喷油提前角不变的情况下,有一个最佳掺水量,这时的节油效果最好。但目前对于乳化油含水量的测定和乳化油的稳定性测量还没有简易的判定方法和测量设备,仅用肉眼观察分层情况或显微镜观察各层的水滴大小及分布情况而进行粗略的估计。这种方法不仅操作复杂,而且无法进行定量测量。

利用油包水型乳化油的介电常数随着含水量增大而增大,采用电容法对乳化油的含水量及稳定性进行测量是一种简便的方法。

## 二、基本原理

根据基本的电学原理

$$C = \epsilon C_0 \quad (1)$$

这里,  $C_0$  表示两极板间为真空时的电容,  $C$  是当极板间充满某种电介质时的电容,  $\epsilon$  为电介质的介电常数。

若在电极间充满的是油包水型乳化油,它的介电常数近似表示为<sup>[1]</sup>:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1}{(1-x)^3} \quad (2)$$

这里,  $\epsilon_1$  是柴油的介电常数,  $x$  是水的体积百分比。式(2)表明乳化油的介电常数与含水量的关系。

在油包水型乳化油中,含水量  $x$  与水珠颗粒数浓度  $N$ 、平均直径  $D_{3/0}$  为以下关系<sup>[2]</sup>:

$$x = \frac{\pi}{6} (D_{3/0})^3 \cdot N \quad (3)$$

$$D_{3/0} = (f_1 D_1^3 + f_2 D_2^3 + f_3 D_3^3 + \dots)^{1/3} \quad (4)$$

式中  $f_i$  是颗粒直径为  $D_i$  的颗粒数与总颗粒数之比。

在油包水型的乳化油中,良好的制备技术和适量的添加剂可使分层速度降低,但分层总会发生,水珠在油中逐渐沉降,使上层的乳化油含水量变小,下层的含水量变大。利用电容法测量不同深度乳化油的介电常数差异来反映含水量的不同。水珠在沉降过程中由于絮凝和聚结而成为较大的水珠,改变了上、中、下各层水珠颗粒大小的分布。在乳化油中常常是由于下层含水量的增加,到一定程度后引起分层和水的析出。因而除了对乳化油进行各层含水量随时间变化的测量外,还可以把乳化油的下层含水量的增加速

率作为乳化油稳定性的判别依据。

### 三、测量装置<sup>(3)</sup>

图1是我们研制的DYF型乳化油稳定性测量仪的原理框图，它是由测量电极 $C_1$ 、补偿电极 $C_2$ 以及由 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 构成的相加器、激励源、放大器、检波器及升降装置等组成。

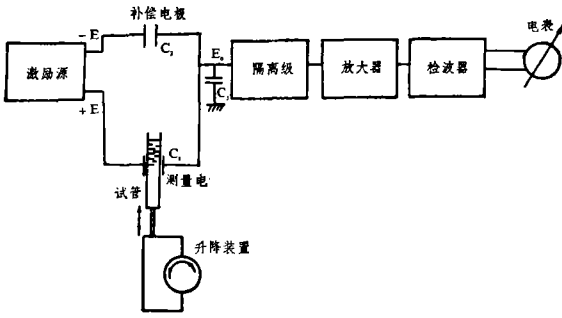


图1 乳化油稳定性测量仪原理框图

由激励源产生的一对相位相反、振幅恒定的正弦波 $+E$ 、 $-E$ 分别加到测量电极 $C_1$ 和补偿电极 $C_2$ 上。当 $C_3 \gg C_1$ ； $C_3 \gg C_2$ 时，

$$E_0 = \frac{E(C_1 - C_2)}{C_3} \quad (5)$$

调节 $C_2$ ，使 $C_2 = C_1$ ，则

$$E_0 = 0$$

测量时， $C_1$ 中加入不同含水量的乳化油，这时 $C_1 > C_2$ ， $E_0$ 将正比于 $(C_1 - C_2)$ ，经放大、检波后在电表上显示。

测量电极是由内径32.5毫米的一对四分之一周长的圆弧形电极构成。电极高为15毫米。试管选用17号料玻璃制成，内径28.5毫米，外径31.5毫米，高200毫米。100毫升的乳化油样品盛于试管中，约160毫米高，通过升降装置在电极内步进式地上升或下降。升降装置共分18个台阶，每个台阶为7.5毫米，使样品逐层地经过测量电极，从而测定出试管内各层样品的含水量。每隔一定时间，上下测量一次，即可获得乳化油随

时间变化的稳定性曲线。

根据同样的原理，将测量电极 $C_1$ 安装在乳化油的输送管道中，这样就能对管道内的乳化油含水量进行实时监控。

### 四、实验结果

#### 1. 乳化油的稳定性测量

图2是乳化油含水量的重量百分比与电表读数的标定曲线。图3是含水量为20%的乳化油稳定性测量结果。开始时，试管中乳化油含水量的上、中、下层基本相同，测量结果如图3中①、②所示。放置一小时半后，乳化油内较大水珠下沉较快，上层含水量逐渐减少，下层增加，中层由于动态平衡，其含水量近似不变，如图3中③所示。放置二小时后，较小的水珠也逐渐下沉，上层乳化油的含水量继续减少，下层含水量继续增加，中层动态平衡段逐渐变短，如图3中④所示。最后，放置七小时后变成上层为油、下层含水量约45%的分层乳化油，如图3中⑤所示。

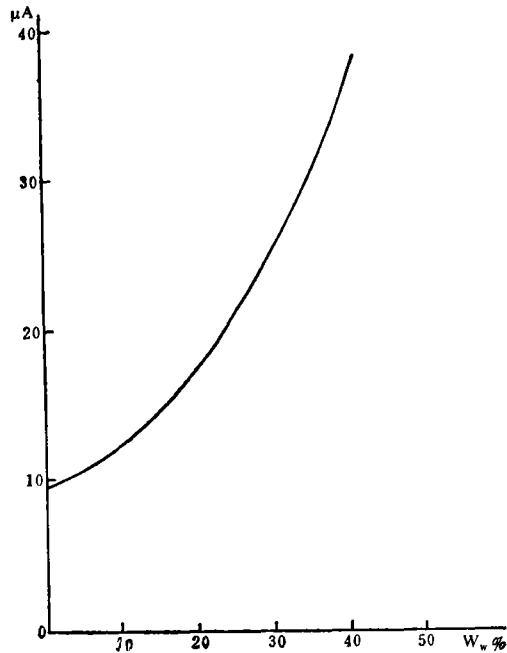


图2 乳化油含水量与电表读数关系

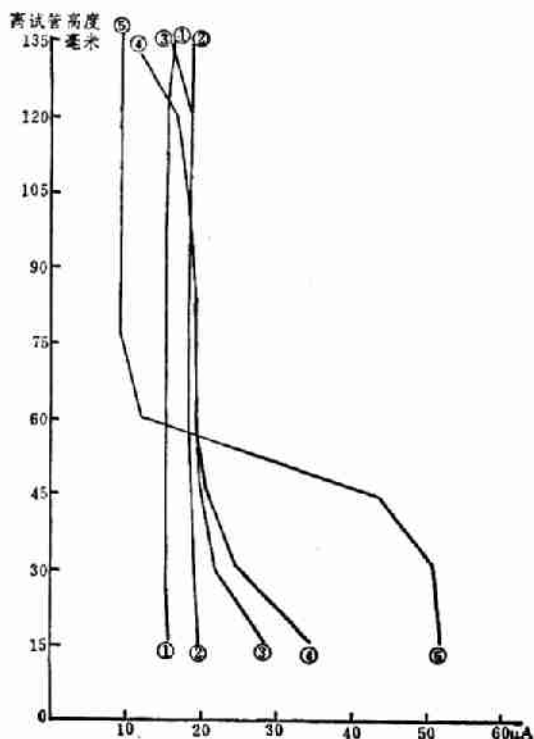


图3 乳化油稳定性测量结果

所示。图4是均匀的含水量为20%的乳化油的显微照片。图5、图6分别是含水量20%的乳化油放置了二小时后在上、下层采样的

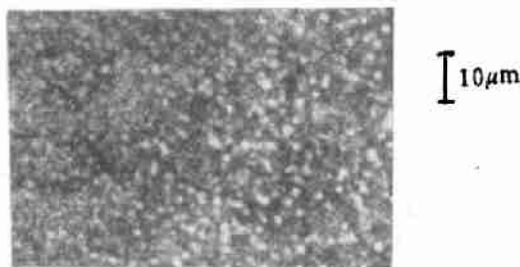


图4 含水量20%的乳化油显微照片

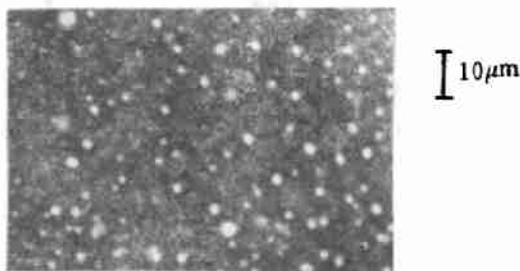


图5 含水量20%的乳化油放置二小时后的上层采样显微照片

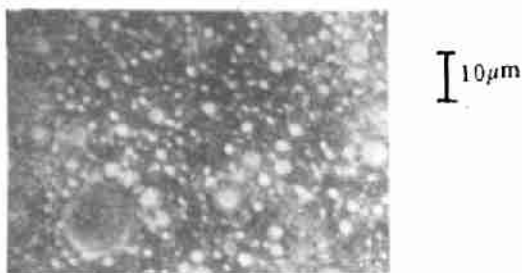


图6 含水量20%的乳化油放置二小时后的下层采样显微照片

显微照片。上层水珠的平均直径约为1到1.5微米，水珠直径分布集中在1微米左右，且颗粒数较稀少。下层水珠平均直径约为4微米，且颗粒数较密集。

## 2. 添加剂的加入量对测量结果的影响

对于加入不同量的添加剂所制备的乳化油进行了测量，测量结果列于表1。由表中数据可看出，测量值基本上不随添加剂的加入量而改变。

表1 添加剂的加入量对含水量测量结果的影响

测量值 $\mu A$	含水量		备注
	10%	20%	
添加剂加入量			
0.3%	12.5	18.5	上海0号柴油
0.7%	13.2	19.0	同上
1.3%	13.2	19.0	同上

## 3. 温度对测量结果的影响

为了检验乳化油含水量测量结果受乳化油温度的影响，配制了含水量为16%的乳化油，添加剂加入量为0.5%。选定2号试管，并在另一台灵敏度较高的含水量稳定性测量仪上进行测量，结果列于表2。

表2 温度对含水量测量结果的影响

测量值 ( $\mu A$ )	温度 $^{\circ}C$						
	7	12	18	25	30	40	45
测量位置							
高试管底高30毫米	22.5	22.7	22.5	22.5	23.0	23.0	24.0

#### 4. 水质对乳化油测量结果的影响。

我们配制了三种常用水质(自来水、黄浦江水及蒸馏水)的乳化油,含水量均为20%。测量试管和仪器条件均相同,测量结果列于表3。

表3 不同水质对含水量测量结果的影响

测量值 ( $\mu A$ )	水质		
	自来水	黄浦江水	蒸馏水
测量位置			
离试管底高30毫米	26.0	27.0	26.2

## 五、讨 论

1. 图2表明油包水型乳化油的介电常数与其含水量的关系,在含水量0到40%的范围内跟前述原理部分公式计算的结果是基本一致的。

2. 图3的乳化油稳定性曲线具有一定的典型性。乳化油稳定性与乳化油中水珠的颗粒大小、颗粒分布、添加剂的种类、加入量以及环境温度等参数密切相关。试管中上层含水量的减少和下层含水量的增加一般同时出现。而更重要的是可以根据下层含水量的增加速率作为乳化油稳定性的判据。根据图3中离试管底15毫米处、曲线②和③的测量结果,其含水量的增加速率为:

$$\frac{\Delta W_w \%}{\Delta t} = \frac{31.5\% - 22.0\%}{60} = 0.16\% / \text{分},$$

对曲线③、④,其含水量的增加速率为:

$$\frac{\Delta W_w \%}{\Delta t} = \frac{37.5\% - 31.5\%}{30} = 0.2\% / \text{分},$$

根据实际使用,一般底部含水量增加速率在0.2%/分左右的乳化油,已经属于稳定性比较好的乳化油。

3. 实验观察到利用电超声刚制备完毕的乳化油,其介电常数稍低于放置片刻后的数值(见图3曲线①、②)。A. Voet认为,这是由于乳化油在制备时受到剪切力的扰动

所引起<sup>[1]</sup>。当然,超声空化引起的气泡也会产生一定的影响。

4. 式(2)的近似公式表明,宏观的介电常数只与乳状液中含水量有关,而与水中所含的杂质(即水质)无关。表3列举了三种常用的水:自来水、黄浦江水及蒸馏水制备的乳化油的测量结果。它们的含水量均为20%,测量结果比较接近。因而式(2)这一近似公式在常用含水量情况下有其实用意义。

5. 实验表明添加剂的加入量对乳化油含水量的测量结果影响不大。一般加入量均在0.5%以下,其影响可以忽略不计。且温度对乳化油的介电常数影响较小。

6. 仪器的灵敏度及误差。

图2的标定曲线表明,在含水量10%至30%范围内,电表每微安读数代表含水量的变化为:

$$\frac{\Delta W_w \%}{1\mu A} = \frac{30\% - 10\%}{26.5 - 12.5} = 1.43\% / \mu A.$$

仪器对含水量变化的分辨率为1%。测量误差为3%。在管道含水量监视仪中,测量误差为2.5%。

## 六、结 束 语

用电容法监测油包水型乳化油含水量的稳定性是一种简便的方法,可以方便地鉴别添加剂的优劣,进行筛选<sup>[4]</sup>,确定添加剂合适的加入量,检验乳化设备的乳化效果。在管道中监视乳化油的含水量,可使乳化油燃烧时达到最佳节油效果。

本工作于1980年1月开始,1981年6月完成,并在1981年6月由中国科学院声学所、扬州地区经委、科委等联合组织的“柴油掺水技术鉴定会”上通过。

本研究工作在张必昇工程师领导下进行,并得到向大威研究员的指导。姚国璋、倪中才等同志也曾先后参加了部分工作。

(下转第28页)

## (四) 结语

气枪的工作过程可以用一电路进行等效，它的基本特征为：

(1) 气枪的充气过程在电路上等效于对电容的充电，根据枪室内气体压强高于或低于临界压强的两种情况在电路上将分为电流源充电与电压源充电的两种形式。

(2) 气枪激发后气室内的高压空气通过排气孔对外放气相当于电容上的电荷经过一时变电阻的放电过程。

(3) 气枪中的活塞相当于一个由比较器输出电压控制的开关电路。

根据对单气室枪和双气室联合枪等效电路的分析，得到了下列结果：

(1) 为了保证气枪正常工作，在使用中不发生自激放炮现象，气枪各部件的机械参数和气动力学参数之间需要满足(4—1)，(4—2)，(4—3)，(4—4)式的关系式，同时要按照

$C_{05}f_5 > 4C_{0*}f_*$  的要求控制中气室的密封精度。

(2) 引爆压强的大小，触发脉冲宽度的估算，及气室内气压的释放幅度可分别按(4—5)、(4—6)、(4—8)、(4—10)式计算。

## 参考文献

- [1] Giles. B. F. "Pneumatic Acoustic Energy Source." *Geophysical Prospecting* 16 (1968) 21~53
- [2] Brode. E. C. et al "A Pneumatic Seismic Energy Source for shallow water/Marsh Areas" *Geophysical Prospecting* 18 (1970) 581~599
- [3] 张叔英, 郑昌武等“适用于浅水区的高效率气枪震源” *海洋地质研究* 第二卷第三期(1982)47~53
- [4] Safar. M. H "The Radiation of Acoustic wave from an Air Gun" *Geophysical prospecting* 24 (1976) 720~750
- [5] Ziolkowski. A. "A Method for Calculating the Output Pressure Waveform from an Air-Gun" *Geophys. J. R. Astr* 21 (1970) 137~161
- [6] 郑昌武, 张训义, 张叔英“湖泊沼泽气枪激发机理的研究”(待发表)
- [7] 复旦大学数学系编著“流体力学” 第十八章上海科学技术出版社1960年10月第一版
- [8] Ф. А. 鲍姆著众智译“爆炸物理学” 179页~180页科学出版社1963年6月第一版。

(上接第44页)

## 参考文献

- [1] 贝歇尔, “乳状液理论与实践”, 科学出版社, 北京, 1978年, p.85。
- [2] Reddy S. R. and Fogler H. S., "Emulsion Stability of Acoustically Formed Emulsions", *Journal of Physical Chemistry*, Vol.84, No.12, 1980, p.1570.
- [3] Sun Yao-qiu and Yuan Wen-chang, "The Coal-content Measuring and Monitoring Equipment for COM", *Proc. Fourth International Symposium on Coal Slurry Com-bustion*, Vol.4, U. S. Department of Energy, Florida, 1982.
- [4] 钱榴清、曾毓华、张宏根、胡昌明, “柴油—水—添加剂体系乳化稳定性的研究”, 1982年掺水燃料与燃烧会议论文集, 安徽屯溪市, 1982.9.