

柴油掺水超声乳化技术用于锻工 加热炉的实验研究

孙耀秋 凌鸿烈 郭纲朴

(中国科学院东海研究站) (上海滚动轴承厂)

柴油中加入一定量表面活性乳化剂,经超声乳化器乳化而成为乳化柴油。这种乳化柴油可用作锻工加热炉的燃料。乳化油中90%以上的水珠直径为小于5微米。实验结果表明锻件的质量是优良的,在掺水量15%时可以节油8%,同时对环境污染有较大的降低。

一、概 况

上海滚动轴承厂的锻工车间共有六台锻工加热炉,每年加工四千多吨锻件,需要烧去0号柴油上千吨之多。为对柴油掺水乳化,以达到节能目的,上海滚动轴承厂与中国科学院声学研究所东海研究站、八室合作,于1981年11月完成了流体动力超声(即簧片哨)乳化装置的研制,并安装在160吨冲床线的锻造加热炉上使用。在实际生产中使用半年多来表明,乳化柴油对锻造工件的内在质量无影响。在掺水率15%时,节油率基本稳定在8%,同时减少了对大气的污染。

二、乳化油的燃烧特点^[1]

燃油是含有多种碳氢化合物的混合物,主要可燃成分是高分子的碳氢化合物 C_mH_n 。油的燃烧是在蒸发汽化和空气混合下进行的。油的燃烧速度取决于油滴蒸发速度和空气与油蒸汽的混合速度,实验表明,球形小纯油滴的燃烧时间与它的直径平方成正比。因而,减小油滴直径能缩短燃烧时间,改善燃烧状况。纯油通过喷嘴时,一次雾化多数

为直径在50~100微米左右的油滴,有的甚至更大。在由本装置所制备的“油包水”型的乳化油中,水珠直径小于5微米者占90%以上。因此,经一次雾化后的每一个小油滴内,包含许多个小水珠。当乳化油喷入炉膛后,因水和油的沸点不同,水珠迅速汽化,形成过程蒸汽,体积膨胀,将油滴爆炸成更细小的微粒,这一过程称为二次雾化。由于二次雾化的作用,大大增加了燃油与空气的接触面积,从而促进了油气与空气的混合燃烧,使燃烧充分、完全。

三、簧片哨的基本原理 和它的主要声学特性

加热炉烧的乳化油系采用流体动力超声(簧片哨)进行乳化制备。簧片哨的结构如图1所示。由高压泵把油水混合剂送至一个扁平长方形的狭缝喷嘴中射出,调节液流速度使片状液流激励一端固定的簧片产生强烈共振,并向周围介质辐射强烈的超声波(频率范围一般在600赫与400赫之间),造成介质空化,在空化泡复合瞬间能产生数百至数千个大气压的作用力,从而使油水达到乳化。

悬臂式簧片的基本弯曲振动频率 F 与簧

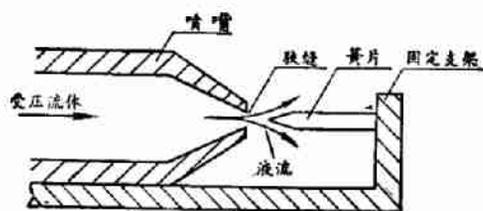


图1 簧片哨的结构原理

簧片的几何尺寸关系可用下式表示^[2]：

$$F = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{a}{\sqrt{12}} \cdot \frac{1}{l^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right)} \cdot (0.597)^2$$

$$= 0.162 \frac{a}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ (赫)}$$

式中 a ——簧片的厚度(厘米)；

l ——簧片的长度(厘米)；

E ——簧片材料的弹性模量(达因/厘米²)，

ρ ——簧片材料的密度(克/厘米³)。

如果考虑负载介质的影响，可将求得频率除一负载系数 K ，水负载时， K 值约在1.1~1.4之间，簧片越薄越长， K 值越大。图2是簧片的示意图。喷嘴至簧片间的距离约为4~6毫米，尖劈形角度为30°左右，喷嘴扁口的宽度一般是等于或小于簧片的厚度。簧片材料采用钛合金。

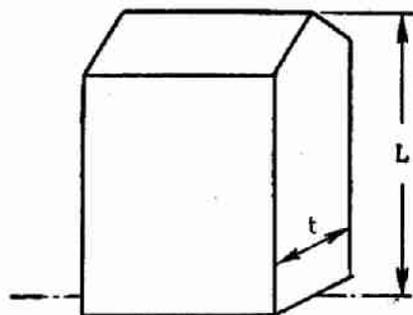


图2 簧片示意图

簧片哨的声学特性，主要是振动频率 F 和辐射声强 I ，而声强的大小通常是评定簧片哨的主要声学指标，因为它直接影响乳化效果。簧片哨的声强与工作压力的关系是，对某一簧片，在一定喷口的宽度下，喷口与簧片间距离保持不变，则声强随工作压力的

增大会出现一个或几个声强峰值，以后声强便开始下降。因此，在乳化油的制备过程中要注意选择簧片哨的最佳工作压力值。表1为簧片哨的声压与工作压力关系的测试结果。

表1 簧片哨声压与工作压力的关系

工作压力 (公斤/厘米 ²)	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
声压 (分贝)	89.5	90.5	91	91	91	90.5	90.2	90	90	90.8

注：0号柴油中的掺水量为25%

考虑到在低频时流体介质的空化阈值较低，有利于乳化，所以，一般振动频率选择在800~1500赫范围内为好。

四、乳化装置及乳化油的质量分析

图3是柴油掺水超声乳化装置的外形图。它是采用流体动力哨的超声乳化设备，能连续制备乳化油。机内配有自动控制供油、乳化、液位高度、故障报警等装置，正常工作时不受外负荷影响。掺水量为0~40%连

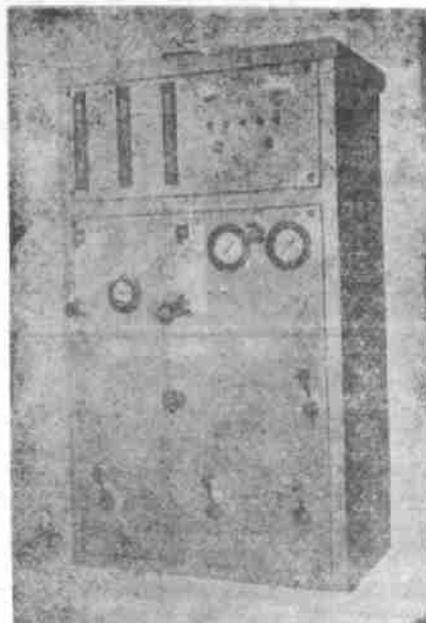


图3 柴油掺水超声乳化装置的外形图

续可调,乳化油的颗粒直径小于5微米,最大乳化能力为每小时处理360公升。机器体积为1500×920×630,全机重量约160公斤。

乳化装置的工艺流程图见图4。柴油和水分别存贮于油箱7、水箱8,并由浮球开关9、10控制油,水的液面为恒定高度。乳化油桶16中的乳化油液面升降带动浮球17的升降,当液面下降使浮球经过乳化油桶外的接近开关18的下端时,控制电路会自动打开进油电磁阀11和进水电磁阀12,使油水混合液进入乳化油泵4初步混合后,经簧片哨15进行乳化。当液面上升,使浮球经过接近开关18的上端时自动关闭进油、进水电磁阀,使乳化油桶16中的乳化油基本上为一恒定量。乳化油在乳化油泵4的推动下,经簧片哨15进行多次乳化。连续制备的乳化油经输

送油泵6,乳化油输出阀22送往加热炉使用。添加剂箱19中盛放的是用柴油稀释过的801添加剂(上海助剂厂试制),掺入量由手控阀20进行调节,总的滴入量为1%。

半年来的使用证明:柴油掺水超声乳化燃油的关键在于将油与水混合乳化,形成直径为几微米的“油包水”型乳化油颗粒。在使用中曾多次从乳化油中取样,放在500倍的生物显微镜下观察,当掺水量为20%时,乳化油中水珠大小分布的测试结果如表2所示。

表2 乳化油中水珠大小的分布

个 数	颗粒直径 (微米)						
	2	3	3~4	4~5	5	5~6	7~8
总数55个	29	10	7	3	3	2	1
百分比%	52	19	12	6	6	4	2

乳化油颗粒在5微米以下占94%，“油包水”型乳化油的显微照片如图5所示。图中白色颗粒为水珠，水珠外面的黑色圈为柴油。表3 室温为8℃时乳化油与纯油的粘度测试对比

掺水量(%)	0	10	15	20	25	30	35
粘度(厘泊)	5.0	5.6	6.8	7.6	9.0	10.4	12.8

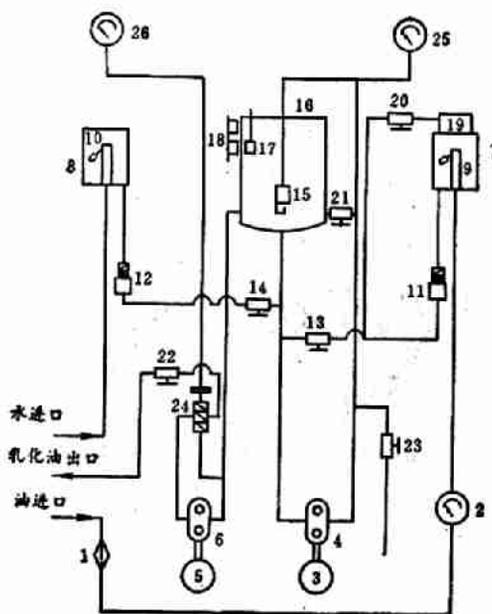


图4 乳化装置的工艺流程图

- 1—过滤器 2—流量表 3—乳化马达 4—乳化油泵 5—输送马达 6—输送油泵 7—油箱 8—水箱 9—进油浮球开关 10—进水浮球开关 11—进油电磁阀 12—进水电磁阀 13—进油量调节阀 14—进水量调节阀 15—簧片哨 16—乳化油桶 17—浮球 18—接近开关 19—添加剂箱 20—添加剂开关 21—超声调节阀 22—乳化油输出阀 23—放液阀 24—输送减压阀 25~26—压力表

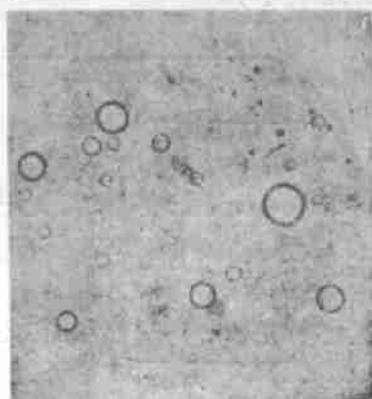


图5 “油包水”型乳化油的显微照片

测试仪器是采用NDJ-79型旋转式粘度计。根据使用要求,乳化油的粘度以接近0号柴油的粘度为好,因粘度增大之后,使乳化油在管道中的流动受到较大的粘滞阻力而影响供油速度。按照上表所列的测试结果,

掺水量在15%时，粘度为6.8厘泊，因此，在实际使用过程中，柴油里的掺水量选取在15%左右为好。

五、加热炉烧乳化油后 对轴承钢质量无影响

轴承钢是高级合金钢，在加热炉中燃烧乳化油，是不是会影响工件的内在质量，是不是会大量地产生氧化脱碳现象？这是生产单位十分关心的问题。为此，轴承厂的金相实验室进行了多次金相和脱碳测试。图6为207轴承外圈锻造的金相显微组织照片。测试结果表明，产品的金相结构完全合格，脱碳在0.1毫米左右，也是合格的。



图6 轴承外圈锻造金相显微组织照片
(索氏体+片状珠光体+细小网状碳化物)
(表面脱碳为0.1毫米)

六、加热炉烧乳化油后 减少了对大气的污染

柴油燃烧之后产生有害气体，造成对大

气污染。柴油的废气主要有NO_x (NO占大部分)，CO，SO₂，丙醛类，碳氢化合物及烟尘等等。其中NO及SO₂占的比例较高，危害性较大。而使用乳化油燃烧时，由于水蒸汽的活化作用，促进了油在低过剩空气量下进行燃烧，使OH根浓度增加，减少了氧原子的产生，因而能抑制NO_x的生成量。上海市闵行卫生防疫站在锻工车间现场对乳化油和纯油燃烧所排出的废气污染情况进行了采样分析比较，测试结果如表4所示。

通过纯柴油与乳化油的废气分析，证明了燃烧乳化油的废气污染情况比燃烧纯柴油要低得多，这对保护环境具有明显的意义。

七、加热炉烧乳化油后 的经济效益

自1981年11月在锻工车间160吨冲床线的锻造加热炉上使用乳化油以来，经过几个月的试验，情况良好，工件内在质量符合标准，节油效果见表5。

表5 节油率对照表

测试 次数	加工工件	掺水量 %	耗油量 公斤/天		节油率 %
			纯柴油	乳化 柴油	
1	207 轴承套圈	15	242.5	226.0	6.8
2	7209 7607轴承套圈 7309	20	195.0	178.0	8.7
5	7309轴承外圈	15	195.0	166.0	14.9

根据以上有代表性的几次试验结果来看，各次的节油率高低不等，最高的为14.9%，最低的为6.8%，这与材料的重量大

表4 纯柴油与乳化油的燃烧排气比较

排放空气中含量	油 种			平均值	烧乳化油			平均值	下降率
	烧纯柴油				烧乳化油				
NO,毫克/立方米	0.080	0.080	0.030	0.080	0.050	0.020	0.020	0.030	62.5%
SO ₂ ,毫克/立方米	0.080	0.040		0.035	0.030	0.020		0.025	28.6%

(下转第14页)

参 考 文 献

- [1] Ward W. D.: «Studies in the aural reflex, III Reflex latency as inferred from indication of temporary threshold shift from impulses», J. A. S. A., Vol.34, pp.1132, (1963)
- [2] Coles R. R. A., and Rice C. G.: «High-intensity noise problems in the Royal Marines», J. Roy. Med. Serv., Vol. 51, pp.2, (1965)
- [3] Loeb M., and Fletcher J. L.: «Impulse duration and temporary threshold shift», J. A. S. A., Vol. 44, pp. 1524, (1968).
- [4] Fletcher J. L., and Loeb M.: «The effects of pulse duration on TTS produced by impulse noise», J. Aud. Res, Vol. 7, pp. 163, (1967)
- [5] Coles R. R. A., Garinther G. R., Hodge D. H., and Rice C. G.: «Hazardous exposure to impulse noise», J. A. S. A., Vol. 43, pp. 336, (1968)
- [6] Pfander F., Bongartz H., Brinkman H., and Kietz H.: «Danger of auditory impairment from impulse noise. A comparative study of the CHABA damage-risk criteria and those of the Federal Republic of Germany», J. A. S. A., Vol. 67, pp. 628, (1980)
- [7] Loeb M., Fletcher J. L., and Benson R. W.: «Some preliminary studies of temporary threshold shift with an arc-discharge impulse noise generator», J. A. S. A., Vol. 37, (1965)
- [8] Rice C. G. and Martin A. M.: «Impulse noise damage risk criteria», J. Sound and Vibration: Vol. 28, No.3, pp. 359, (1973)
- [9] 海军医学研究所第二研究室: «快速增压对人体和动物鼓膜和听力变化的初步观察», 海军医学研究所论文汇编第4辑, 42页, (1974年)
- [10] 冯俊明、梁之安: «动物试验在噪声控制研究中的应用», 第二届声学学术会议论文摘要, 173页, (1979年)

(上接第9页)

小和操作的快慢有关。由于这些不稳定因素存在, 还需要继续试验测定。为此, 目前的节油率以第二次为准, 初步肯定节油率为8%。

上海滚动轴承厂现有锻工柴油加热炉6台, 每年共耗油1000吨左右。若全部推广使用乳化油, 每年可节约轻柴油80吨, 如果1吨0号柴油按450元计价, 这样, 每年可收到3.6万元的经济效益。

八、结 束 语

通过半年多来使用乳化柴油的实际生产表明, 柴油掺水超声乳化技术不仅可推广应用于柴油机, 而且也可以推广到柴油加热炉和窑炉等, 其结果如下:

1. 锻工加热炉烧乳化油后, 经过多次鉴定肯定对于工件的内在质量没有影响。
2. 锻工加热炉烧乳化油, 废气中的NO₂含量有明显的降低, NO下降62.5%, SO₂下降28.6%。

SO₂含量有明显的降低, NO下降62.5%, SO₂下降28.6%。

3. 锻工加热炉烧乳化油, 在掺水量为20%的情况下, 平均节油率为8%左右。

4. 柴油掺水是一项新的燃烧技术, 对于燃烧乳化油能节油的机理分析, 目前国内外提出了各种不同的观点来进行解释, 而多数倾向于“微爆”理论。这项工作还有待于今后继续深入探讨。

本项研究工作是在张必升工程师领导下进行的。参加人员还有中国科学院东海研究站俞明德、邹铁辉、彭金宝; 中国科学院声学研究所八室史国宝、颜世彪等同志。

参 考 文 献

- [1] 上海海运局, 上海船舶运输科学研究所编译, «超声波与燃油掺水»(译文集), 上海科学技术情报研究所出版, P5~15。
- [2] Brown, B. and Goodman, J. E. «High-Intensity Ultrasonics», Published in U. S. A by D. Van Nostrand Company Inc., (1965). P66.