

文章编号: 1002-0268 (2000) 03-0076-04

利用发动机次级电压使汽油带电荷 改善雾化机理的试验研究

李世武¹, 高延令¹, 徐绍曾¹, 王云鹏¹, 王羽¹, 秦好泉²
(1. 吉林工业大学, 吉林 长春, 130025; 2. 空军长春飞行学院, 吉林 长春, 130022)

摘要: 利用汽油机点火线圈次级电压使汽油荷电是改善汽油雾化、节能降排的一种新尝试。本文详细分析了汽油带电荷分裂的基本原理,使用点火线圈次级电压作为脉冲电源,采用尖端电极直接荷电技术,在发动机气道稳流试验台上用 YSC-1 型运动粒子瞬态激光全息测试仪,拍摄了汽油带电荷雾化和不带电荷雾化时的粒子全息图,并利用自编软件进行粒子图像处理 and 粒径分布统计,统计结果证明汽油荷电雾化后的粒子相对未荷电雾化的粒子其粒径约减少 4 倍左右。
关键词: 汽油荷电; 改善雾化; 全息摄影; 粒径统计
中图分类号: U464.113 **文献标识码:** A

Research on Electrization of Petrol to Improve Atomization by Using Secondary Voltage of Ignition Coil

LI Shi-wu¹, GAO Yan-ling¹, XU Shao-zeng¹, WANG Yun-peng¹, WANG Yu¹, QIN Hao-quan²

(1. Jilin University of Technology, Jilin Changchun 130025, china; 2 Changchun flight college, Jilin changchun 130022, china)

Abstract It is a new method for automobile to make petrol electrized to improve atomization and economize fuel & reduce emissions. This paper analyses the basic principle of electrostatic dispersion of petrol uses secondary voltage of engine ignition coil as pulsating power supply and uses a sharp electrode to make petrol electrized. Holography of petrol carrying charge and petrol not carrying charge are gained by using YSC-1 model moving particle instantaneous laser holography tester at engine air channel experimental table. By designing special softw are to deal with the picture and count petrol drop radium, it is concluded that the average petrol drop radium of carrying charge decrease about four times than that of not carrying charge.
Key words: Electrization of petrol; Improving atomization; Laser holography; Counting petrol drop radium

汽油机主要是通过压力喷射或高速气流进行雾化的。在汽油质量相同的前提下,雾化后的粒径越小,颗粒越多,则汽油粒子的表面积越大,蒸发速度越快,燃烧效果就越好。如何改善汽油雾化、减小颗粒粒径是节能降排的重要手段,也是国内外科研人员多年来一直探讨的课题。燃油荷电改善雾化技术是作者以及所在课题组正在探索的一个新尝试^[1,2]。

使用荷电方法改善液体雾化的技术国内外曾进行过大量的研究^[3~5],其应用已涉及到污染、气象、农药喷洒、静电喷涂、飞船推进等许多领域^[6],但针对发动

机进行的研究较少^[7],并且在研究中所用电源一般为 220V 的交流电源^[1],而汽车上附带此交流电源存在一定的困难。本文则根据汽油机的自身特点,首次采用点火线圈的次级电压作为脉冲电源进行汽油荷电试验,在西安公路交通大学激光全息摄影室对荷电前后燃油雾化颗粒的大小进行了全息摄影验证研究,取得了一些有益的结果。

1 燃油荷电雾化的基本原理

汽油荷电即汽油在流经电场区域时使其带上电荷。

汽油荷电雾化即利用电荷力使油滴表面破碎而形成小的带电油滴的过程^[3 4]。

在理论状态下，一个悬浮的荷电油滴，其表面张力倾向于使油滴收缩，而同种电荷间的相互排斥作用，则倾向于使油滴膨胀（即分裂）。当油滴所带电荷之间的排斥力超过了油滴的表面张力时，则油滴就会破碎而产生小油滴，达到雾化的效果。

假设 σ 为油滴的表面张力（dyne/cm）， P_s 是由于表面张力而在油滴的内部（以对称面为例）所产生的流体静压力（见图 1），则

即
$$2\pi R\sigma = P_s\pi R^2$$
$$P_s = 2\sigma / R \tag{1}$$

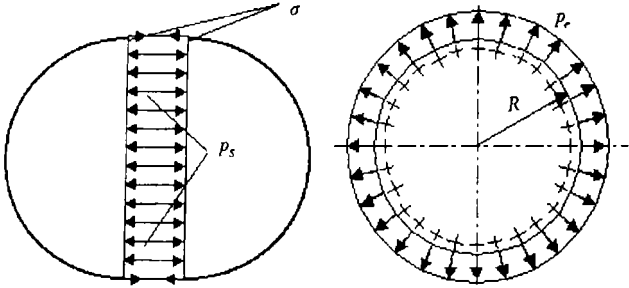


图 1 表面张力与流体静压力示意图

图 2 油滴带电荷所产生的膨胀压力

再研究一下由于电荷的排斥力而使油滴产生的膨胀压力 P_s ，假设带电荷油滴为规则球形，油滴所带电荷（以正电荷为例）均匀分布在油滴的外球面上（见图 2、图 3），由于带电油滴外一点 E 的电场强度为

$$E = Q / (4\pi \epsilon r^2)$$

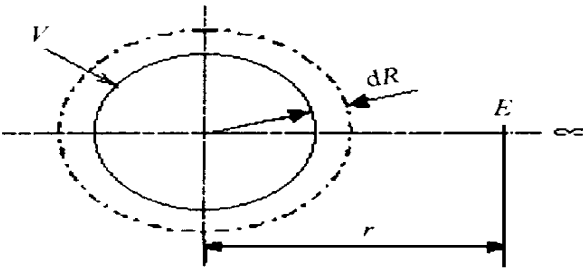


图 3 油滴因带电荷而膨胀的示意图

式中， Q ——油滴所带电量；
 r ——该点距离油滴中心的距离；
 ϵ ——周围介质的介电常数。

则油滴表面上的电位

$$V = - \int_{\infty}^R E dr = Q / (4\pi \epsilon R)$$

储存在油滴上的电能

$$E = - \int_0^Q V dq = Q^2 / (4\pi \epsilon R)$$

如果维持 Q 为常量，令油滴半径从 R 增至 $R + dR$ ，则有

$$dE = - \frac{1}{8\pi \epsilon R^2} Q^2 dR \tag{2}$$

而从 P_e 考虑，由功能定理知， dE 又等于 P_e 所做的功，因而

$$dE = - 4\pi R^2 P_e dR \tag{3}$$

由式（2）、式（3）得

$$P_e = Q^2 / (32\pi^2 \epsilon R^4) \tag{4}$$

根据分析可知，当 $P_e = P_s$ 时，荷电油滴将处于稳定与分裂的临界状态，求得

$$Q_0 = 8\pi \sqrt{\epsilon \sigma R^{3/2}} \tag{5}$$

当油滴的带电量 $Q < Q_0$ 时，油滴处于稳定状态，此时荷电油滴不分裂；当油滴的带电量 $Q > Q_0$ 时，油滴将分裂出小的油滴，而且分裂出的小油滴的数目有一定的分布规律，此即燃油荷电改善雾化的基本原理。

从以上的理论推导可知，只要使汽油油滴带上适当的电荷，就可得到适当粒径的颗粒，实现汽油的荷电雾化。因此，汽油荷电改善雾化的前提是如何使汽油荷电。

2 荷电电极的研究

液滴荷电的方法主要有 3 种：电晕荷电、感应荷电和接触荷电，对于绝缘液体而言，接触荷电方法的荷电效率最高。汽油属于绝缘液体，故作者采用了尖端电极与桶状电极构成双电极的接触荷电和荷电方式。

作者设计了多种不同形式的荷电装置，并在静态试验中在多种荷电装置上实现了汽油常压、低速下的荷电雾化。

荷电电极在化油器上的安装参考图 4。尖端电极安装在主量孔前，主喷管的管壁作为桶状电极接地。为不使带上电荷的汽油因与主量孔接触而失去电荷，先将主量孔扩大，然后用绝缘胶灌满，等胶固化后，再加工出相同尺寸的内孔，从而保证改造后的发动机的性能不改

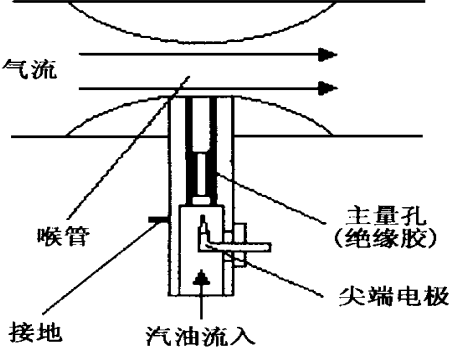


图 4 尖端电极的安装示意图

变。只在主量孔前与尖端电极相对的地方露出金属表面,与尖端电极构成双电极,提高电场的强度。

3 高压脉冲静电设备的设计

高压静电脉冲设备采用汽油机高压点火系统,但在气道试验台上发动机不能点火运转,因此用一套自制设备来代替。此设备由调压器、直流电动机、蓄电池、点火线圈、分电器、支架、电流表、滑动变阻器等组成。试验时直流电动机带动分电器旋转,用调压器控制直流电动机的转速,调节分电器的通断频率,进而控制高压脉冲静电的输出频率。由滑动变阻器调节点火线圈初级电流的大小,控制次级电压的高低。设备的电路示意图见图 5。

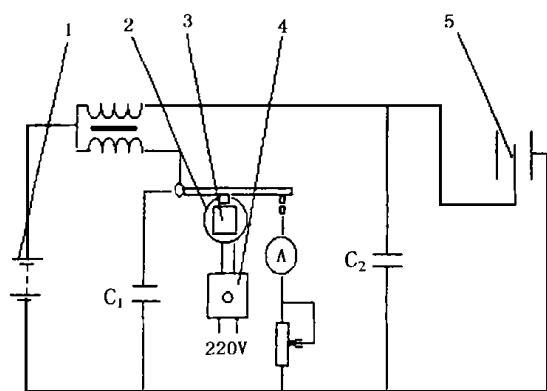


图 5 高压脉冲静电设备的示意图

1. 蓄电池 2. 直流电动机带动分电器旋转
3. 凸轮 4. 调压器 5. 尖端电极

经过基础试验得到如下结论:在直流电动机的一般转速(500~2 000r/min)下,只要初级电流超出 2.0A(汽油机实际运行时一般都超过此电流),均可使汽油在正常流速下实现常压、低速下的静电雾化。

在汽车上实际应用时,可在汽油机上再增加一个点火线圈(同原来的点火线圈并联,由一个分电器带两个点火线圈进行工作),专门用于使汽油荷电。

4 发动机的改装

为了验证汽油荷电之后是否能够改善雾化情况,作者在气道试验台上利用 YSC-1 型运动粒子瞬态全息摄影仪对气缸内雾场的粒子情况进行了拍摄。

试验采用 175 侧置发动机。为进行全息摄影,对其结构进行了改造,首先去掉油底壳、连杆、活塞,将进气门完全打开,用铁丝固定住,将排气门关闭,亦用铁丝固定住。在气缸的下面安装一段有机玻璃气道,在气道上对开直径为 60mm 的圆孔玻璃窗,以便让激光光束从此玻璃窗通过,对雾化后的雾场进行拍

摄。为提高玻璃窗的透光性,选用 K9 光学玻璃。为在拍摄的全息图上能够准确确定粒子的尺寸大小,在玻璃窗中间位置悬垂一根 50 μ m 的标准丝。

改造后的发动机在进气管路前安装孔板式空气流量计,在油路上安装油耗仪,在化油器喉管处安装真空度计,然后将其一起安装在发动机气道试验台上,以模拟发动机进气。

5 激光全息摄影拍摄系统及再现系统

本试验的拍摄部分采用 YSC-1 型运动粒子瞬态激光全息测试仪,其主要由 3 部分组成:第 1 部分为激光光源及拍摄粒子场的部分物光光路和参考光路的准直光路部分;第 2 部分将物光经扩束,平面反射到直径为 110mm 的准直镜上变成平行光,经雾场进入 4F 光学系统,参考光也同时进入准直系统,经两块反射镜,到底片盒与物光干涉;第 3 部分为电控箱。

由于在拍摄中物光和参考光的平行方向有一定的夹角,物体与记录介质(II 型干版)之间的距离也比较远(1 050mm),因此,本试验所拍摄到的全息图属于离轴远场全息图。拍摄的光路图见图 6。

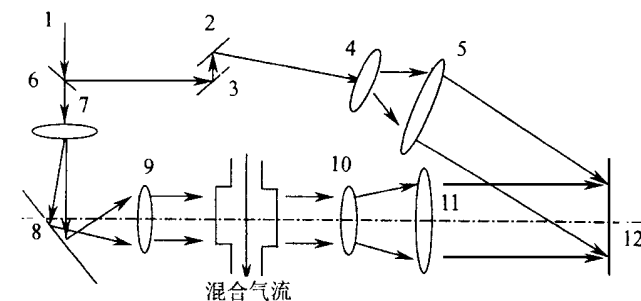


图 6 激光全息拍摄光路图

1. 激光来源 2. 全反透镜 3. 全反透镜 4. 扩束镜 5. 准直镜
6. 分束镜 7. 扩束镜 8. 全反透镜 9. 准直镜 10. 一次傅立叶变化透镜 11. 二次傅立叶变化透镜 12. II 型干版

试验所采用的主要参数如下:静态能量 940mJ;脉冲宽度小于 50ns;振荡级延时 T1 为 35ms;系列脉冲延时 T2 为 445ms;脉冲间隔 0ms;脉冲数 1;I 晶压 1 800V;II 晶压 2 000V;充电电压预置 1 400V;电源电压预置 1 350V。

经激光全息摄影仪拍摄后得到的干版,首先在暗室中进行显影、停影、定影,最后得到的全息图仅仅是记录在干版上的彩色干涉条纹,无法用肉眼看到实际的粒子图像,还必须经再现光路进行图像再现。

再现设备采用北京大学生产的专用再现系统。再现后的图像由摄像机进行记录。当干版在整个光路中的左右位置一定时,将其上下前后移动,可以从摄像头上观察

到同一聚焦面的不同部分, 从一个聚焦面上可以取下多幅图像。干版的左右位置在小范围内变化时, 从摄像头上又可以观察到其他几个相近层面的粒子图像。

摄像头将再现图像的信息记录下来, 传送给计算机。计算机配有分辨率为 $1\,024 \times 768$ 的 TVGA 显示器, 并安装有 BLASTER SE100 图像采集软件及其配套电路板, 再现图像可显示在计算机显示器上。

6 荷电前后雾场对比

试验中拍摄了大量的全息图, 对比加电、不加电所拍摄到的全息图, 可看出:

- (1) 不加电时在整个雾场中粒子的颗粒较大, 其直径大致在 $60 \sim 80 \mu\text{m}$ 左右, 并且有时有油片产生, 其雾化情况一般。
- (2) 加电后在整个雾场中汽油液滴变小, 其直径大小约减小 4 倍左右, 油滴尺寸分布范围变窄, 尺寸较统一。
- (3) 荷电后的燃油由于电荷的排斥作用, 油滴不易粘结, 因此, 出现油片的概率较小。
- (4) 由全息图对比可看出燃油荷电后确实降低了粒径, 改善了雾化, 为发动机的节能降排指出了一条新的途径。

7 数字图像处理和粒径分布统计

经计算机图像采集卡记录下的图像上存在许多的噪声干扰 (例如干版划痕、玻璃窗上的污物、各个镜头上的污点等), 可以用 Photoshop5. 0、照片编辑器等类似软件进行简单处理, 处理后的图像即可进行定性分析。

为了精确统计荷电前后雾场的粒径大小, 作者使用专用的粒径分布统计软件, 以图像上的标准丝为依据, 将图像进行前处理 (图像均匀化、图像对比度拉伸、图像阈值化、中值滤波、平移和差分边缘检测、粒子封闭检测、聚焦粒子检测) 之后, 用边缘拟合的方法确定各个粒子的粒径, 其统计结果见图 7。

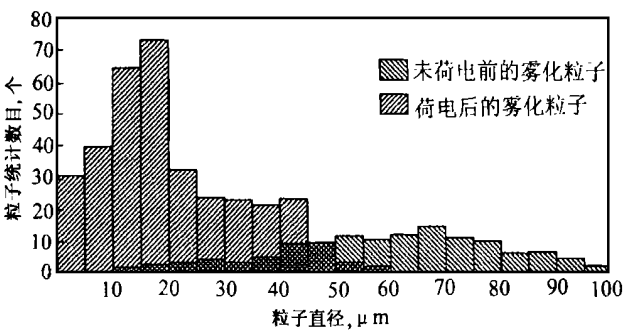


图 7 粒径分布统计图

8 结论

本文分析了燃油荷电改善雾化的理论基础, 首次利用发动机点火线圈次级电压作为脉冲电源使汽油荷电, 并在气道试验台上利用激光全息摄影仪拍摄了汽油带电荷和不带电荷时雾化的粒子全息图, 为发动机的节能降排提供了一条新途径, 并且荷电后的燃油液滴为外电场控制油滴的移动提供了有利条件。

本项研究不仅适用于汽油的雾化, 对于其它燃料 (柴油、煤油、烃燃料等) 或其它的燃油设备 (如燃油锅炉) 的燃油静电雾化研究和应用都有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 刘大海. 汽油静电雾化理论及应用研究. 吉林工业大学博士论文, 1997.
- [2] 刘大海等. 汽油带电荷辅助雾化的初步研究. 中国公路学报, 1997 (3).
- [3] S O Shiryayeva, A I Grigor'ev. The semiphenomenological classification of the modes of electrostatic dispersion of liquids. Journal of Electrostatics, 1995 (34): 51-59.
- [4] W Balachandran, A Adriang, Bailey. The dispersion of liquids using centrifugal and electrostatic forces. IEEE, 1984, IA-20 (3).
- [5] 苏永宏等. 烃燃料的静电雾化. 中国静电年会论文集, 1999-08.
- [6] A d moore. Electrostatic and its applications. 1984.
- [7] 志贺圣一等. アルエール使用気化器における= 静电印加力燃料供給特性は及ぼす影响. 自動車技术会论文集, 1985.