

基于数字图像处理的生物柴油-柴油雾化粒度的测量^①

蒋爱德

(河南牧业经济学院 信息工程系, 郑州 450011)

摘要: 生物柴油与普通柴油任意比例互溶的混合物可以代替石化柴油供内燃机使用, 为了使得这种混合物在内燃机应用中达到好的动力性和排放效果, 就需要研究不同比例的生物柴油—柴油混合物的雾化效果. 利用数字图像处理的方法对生物柴油-柴油混合物雾化图像进行处理, 获得了单位面积内雾化粒度的数量和平均直径, 处理速度快捷、准确, 减少了传统人工方法分析的主观性和较高的失误率.

关键词: 混合燃料; 雾化特性; 孔洞填充算法; 细化算法; 图像测量

Biodiesel - Diesel Fuel Atomization Measurement Based on Digital Image Processing

Jiang Ai-De

(Department of Information Engineering, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Biodiesel and regular diesel in any proportion miscible mixtures can be used instead of petrochemical diesel fuel for internal combustion engine. In order to make the mixture in internal combustion engine applications to achieve good effect on performance and emissions, we need to research different proportions of biodiesel-diesel mixture atomization effect. In this paper, digital image processing methods is used for biodiesel-diesel mixture atomization image processing, to obtain the number per unit area and the average diameter of atomization particle, fast processing speed, accuracy, reducing the traditional manual method of analysis of subjectivity and a higher failure rate.

Key words: mixed fuel; atomization characteristics; hole filling algorithm; thinning algorithm; image measurement

由于石油资源日益枯竭, 人们研究以生物柴油和石化柴油的混合物来替代石化柴油. 由于生物柴油具备与石化柴油相近的燃烧性能和排粪性能, 可与柴油以任意比例混合或直接在内燃机上使用, 并能减少温室气体排放、降低空气污染, 故又被称作“液体太阳能燃料”和“绿色燃料”. 但由于生物柴油来源的多样性, 以及生物柴油和石化柴油在理化特性等方面的不同, 所以它们的混合物在内燃机上雾化燃烧的效果也有所不同. 实验表明, 喷雾愈细, 即油滴越小, 越均匀, 油滴的总表面积越大, 燃烧越完全, 内燃机的动力性和排放性也就越好. 对于生物柴油-柴油混合物的雾化特性^[1]研究, 传统方法是人工采样, 用显微镜观察粒度分布, 利用显微镜刻度计算粒度半径和个数.

为了改变这种现象, 本文对生物柴油-柴油混合物

的雾化图像采集方法进行了叙述, 对利用数字图像处理方法进行雾化粒度测量^[2,3]中的核心算法进行了分析研究, 实验结果表明达到了测量的目的.

1 实验研究

1.1 图像采集

在配制生物柴油-柴油混合燃料时, 直接将生物柴油与 0 #柴油按不同比例在室温下搅拌混合 30 分钟而成. 图像采集^{[4][5]}试验所用基本仪器设备包括: 锥形雾化喷嘴、增压泵、电磁阀、压力传感器、显微镜、数码相机、温湿度传感器、铁谱分析显微镜等. 因为是油剂雾滴, 用试样表面为氧化镁的载玻片收集, 当雾滴与氧化镁碰撞时, 一个雾滴就形成一个圈痕, 测得的圈痕尺寸比真实雾滴大, 因此需要进行修正才能得

^① 基金项目:河南教育厅项目(12B520066)

收稿时间:2014-03-16;收到修改稿时间:2014-04-21

到雾滴的真实尺寸. 在实际应用中, 雾滴大小乘以 0.86 的系数.

图像采集试验在室内进行, 环境温度是 18℃, 相对湿度是 65%, 锥形雾化喷嘴喷孔直径 0.18mm, 试验采用 5 种不同的生物柴油-柴油混合物, 分别为 B0、B20、B50、B80 和 B100. 其过程如下: 接通电磁阀, 启动增压泵, 等到喷油压力达到并稳定到 3.5MPa 时, 观察喷雾形状, 把测量架放置在幅宽最大处, 使托盘位于距地面 1m 高的位置. 在测量架托盘上放置试样表面为氧化镁的载玻片进行取样, 同时进行计时, 喷雾时间 8 秒钟取出载玻片, 停止喷雾. 接下来接通显微镜电源, 选择透射光为“0”、落射光为“10”, 目镜放大倍数调整为“10×”, 物镜放大倍数也为“10×”, 将载玻片放在显微镜下观察并用数码相机拍照获得雾滴图像.

1.2 软件开发

生物柴油-柴油的雾化颗粒算法中用到的关键技术为: 对比度调整、图像平滑、图像二值化(图像分割)、孔洞填充和细化. 其中对比度调整和图像平滑属于图像的预处理, 而图像二值化、孔洞填充和细化算法属于生物柴油-柴油的雾化颗粒算法中的核心技术. 在生物柴油-柴油的雾化颗粒图像测量中, 软件处理的流程图如图 1 所示:

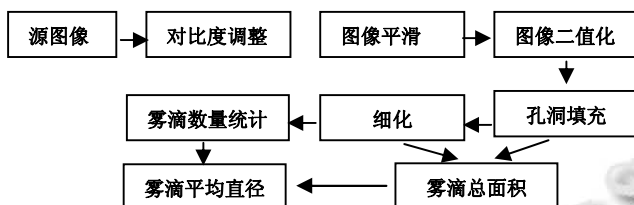


图 1 生物柴油-柴油雾化颗粒测量

根据图 1 的流程图, 以 VC++ 为开发工具进行软件开发(如图 2 所示), 对生物柴油-柴油混合燃料雾化颗粒的数量、平均直径分别进行统计和计算, 改变了传

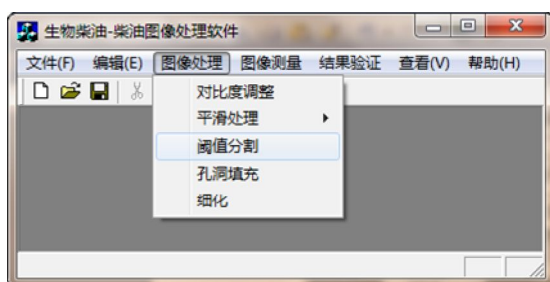


图 2 生物柴油-柴油图像处理软件界面

统人工测量雾化颗粒计数方法重复和低效率.

2 数字图像处理

对生物柴油-柴油混合物雾化颗粒图像处理的核心部分是图像二值化、孔洞填充和细化, 目的是使采集到的雾滴图像达到测量的要求.

2.1 图像二值化

在数字图像处理中, 一般处理的是灰度图像, 灰度图像的颜色范围是 0~255, 其中 0 是黑色, 255 是白色, 图像二值化就是将灰度图像处理成 0 和 255 两种颜色的图像. 图像的二值化有利于图像的进一步处理, 使图像变得简单, 数据量减小, 能凸显出感兴趣的目标, 所以在数字图像处理中占有非常重要的地位. 在图像二值化时, 利用灰度直方图阈值处理法是最实用的一种方法. 灰度直方图是灰度值的函数, 描述了一幅图像的灰度级内容, 参考灰度图像的直方图(如图 3 所示), 利用阈值分割把一幅图像中像素值处于一定范围内灰度值的像素赋予特别的值(比如 0), 在这个范围之外的像素的值赋予另外一个值(比如 255), 如图 4 所示. 生物柴油-柴油混合物雾化颗粒图像二值化后, 颗粒的特征信息被保留了下来, 不需要的信息被去除, 这样的结果有利于图像的后续处理.

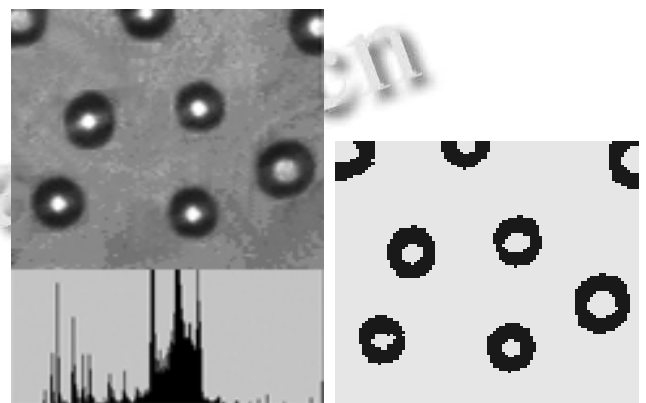


图 3 原始图像及其直方图 图 4 图像二值化结果

2.2 孔洞填充

根据图 4 处理的结果, 可以看到二值化后的雾滴图像中间存在孔洞, 这对以后的图像细化非常不利, 所以需要进行孔洞填充^[6-8]. 根据本类图像的特征, 研究其算法描述如下.

(1) 图像自上而下进行行扫描, 遇到第一个 255 色(即白色)的点为种子点, 并标记为颜色 Color1(Color1

是介于 0 和 255 之间的一个颜色值), 然后进行八邻域连通点(图 5)扫描. 扫描方法: 假设一幅图像中的一个 3×3 区域, 对各点标记名称 P₁, P₂, ...P₈, 其中 P 位于中心, 称为种子点. 如果 P 点为上边界点或左边界点, 只扫描 P₁, P₂, P₃ 点. 如果 P 点为下边界点, 只扫描 P₃ 和 P₇ 点, 其余则进行八邻域扫描. 对于八邻域连通点, 如果 P₄, P₅, P₆ 点为 255 色, 则标记为 Color2, 并标记 X_{min} 和 Y_{min} 坐标. 其余的连通点均标记为 Color1. 以 P₃ 点为种子点, 继续进行扫描, 直到遇到边界点或为 0 颜色像素的点, 则以下一行标记为 Color1 颜色的像素点为种子点, 进行重新扫描. 所有标记为 Color1 和 Color2 的像素点都要计数.

(2)当扫描结束时, 如果没有 Color2 颜色的像素, 则统计像素点个数. 可以给定一个阈值, 如果统计的像素点个数小于给定的阈值, 则需要重新开始自上而下进行扫描. 以第一个像素颜色为 255 的点为种子点, 重新标定种子点的颜色(如图 6 所示).

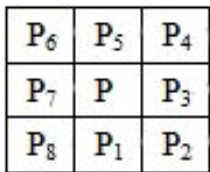


图 5 八邻域扫描图

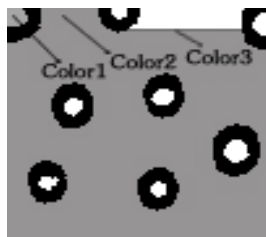


图 6 种子点扫描

(3)第一次扫描后, 对于有不同于种子点颜色的连通点, 基本上可以判定是图像中连通的大区域(如图 7 所示), 需要以这些点为种子点(如图中的 Color3)进行自下而上的行扫描, 将种子点以及连通的符合条件的点标记为种子点颜色, 直到扫描结束.

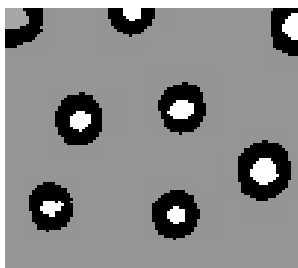


图 7 最大区域扫描



图 8 孔洞填充

(4)再次扫描图像, 将大区域颜色的像素和 0 颜色像素点以外的像素都标记为 0 颜色, 填充完毕(如图 8 所示).

2.3 细化

图 8 中的图像可以看出单个雾滴, 但在图像处理中因为信息冗余还无法统计雾滴的数量, 所以还需要进行细化^[9-11]. 细化的目的是减少图像成分, 只留下区域最基本的信息, 以便于进一步分析和处理. 图像中最基本的信息称为骨架, 骨架是指图像中央的骨骼部分, 用细化算法能够实现从图像抽取骨架的功能, 对被处理的图像进行细化有助于突出形状特点和减少冗余的信息量. 细化算法一般以被判断点(P 点)的 8 邻域扫描图像, 寻取图像的骨架. 图 9 是一些根据八邻域点的情况判断该点是否能删的例子.

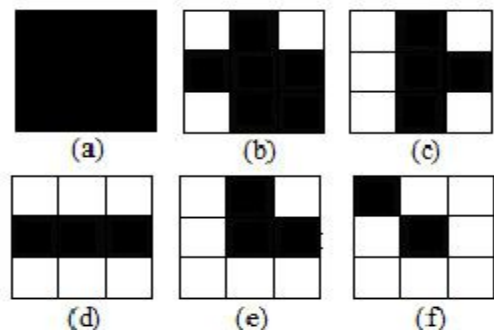


图 9 根据八邻域点的情况判断该点是否删除

由图 9 所示, (a)、(b)不能删, 因为它是个内部点. (d)、(f)不能删, 因为删掉后, 原来相连的部分断开了. (c)、(e)可以删除, 这样的点不是骨架.

从上面可以看出: 内部点不能删除; 孤立点不能删除; 直线端点不能删除; 如果 P 是边界点, 去掉 P 后, 如果连通分量不增加, 则 P 可以删除.

根据上述的判断, 做出一张表(表 1), 从 0~255 共有 256 个元素, 每个元素要么是 0, 要么是 1. 根据要处理的黑色点的 8 个相邻点的情况查表, 若表中的元素是 1, 则表示该点可删, 否则保留.

表 1 种子点是否骨架点判断表

	第 1 列	第 2 列	第 3 列	第 4 列	第 5 列
第 1 行	0,0,1,1,0,0,1,1	1,1,0,1,1,1,0,1	1,1,0,0,1,1,1,1	0,0,0,0,0,0,1	0,0,1,1,0,0,1,1
第 2 行	1,1,0,1,1,1,0,1	1,1,0,0,1,1,1,1	0,0,0,0,0,0,1	1,1,0,0,1,1,0,0	0,0,0,0,0,0,0,0
第 3 行	0,0,0,0,0,0,0,0	0,0,0,0,0,0,0,0	1,1,0,0,1,1,0,0	1,1,0,1,1,1,0,1	0,0,0,0,0,0,0,0
第 4 行	0,0,0,0,0,0,0,0	0,0,1,1,0,0,1,1	1,1,0,1,1,1,0,1	1,1,0,0,1,1,1,1	0,0,0,0,0,0,1
第 5 行	0,0,1,1,0,0,1,1	1,1,0,1,1,1,0,1	1,1,0,0,1,1,1,1	0,0,0,0,0,0,0,0	1,1,0,0,1,1,0,0
第 6 行	0,0,0,0,0,0,0,0	1,1,0,0,1,1,1,1	0,0,0,0,0,0,0,0	1,1,0,0,1,1,0,0	1,1,0,1,1,1,0,0
第 7 行	1,1,0,0,1,1,1,0	1,1,0,0,1,0,0,0			

查表的方法是, 设白点为 1, 黑点为 0. 根据表 1 对应 8 个相邻点的情况查表, 若表中的元素是 1, 则表示该点可删, 否则保留. 如图(b)中对应的 8 个点

{1,0,1,0,0,1,0,0}按图 9 中八邻域以 2 为底的次幂计算, $1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^7 + 0 \times 2^8 = 37$, 对应表中的第 1 行第 5 列第 5 个数字是 0(画横线处), 所以该点不能删除. 如图 (c) 对应的 8 个点是 {1,0,1,1,0,1,0,1}, 可以计算 $1 \times 2^0 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^7 + 1 \times 2^8 = 173$, 对应表中第 5 行第 2 列第 5 个数值为 1, 所以该点可删除. 将图 8 中的图像按上述细化算法编程处理, 得到的最后图像如图 10 所示, 可以看到图中的信息没有冗余, 可以进行数量统计.

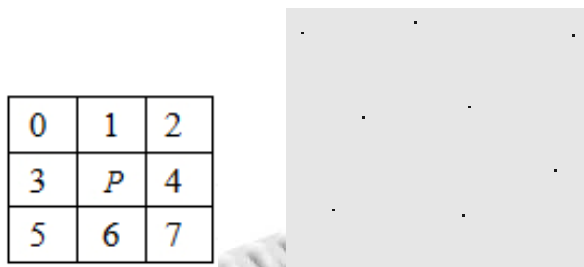


图 9 以 2 为底次幂对照图 图 10 细化后图像

3 图像的测量

将细化后的图像修正后, 重新进行扫描, 遇到像素颜色为黑色的进行标记统计, 可以求得图像中雾滴的数量. 在孔洞填充后的二值图像中, 以标记的点为种子点, 相互连通的黑色像素为一个雾滴, 乘以修正系数, 可以测得雾滴的大小. 所有的黑色像素的总和, 可以求得总面积. 要计算真实的雾滴大小和面积, 还需要标定尺寸, 再进行计算, 计算公式如下:

$$s = S / N \quad d = 2k\sqrt{s / \pi}$$

式中: S —总像素面积, 单位像素; N —颗粒总个数, 个; s —颗粒平均面积, 单位像素; k —标定系数, $\mu\text{m}/\text{像素}$; d —颗粒实际大小, 单位 μm .

4 结论

通过对生物柴油-柴油混合物雾化图像的采集, 利

用数字图像处理的方法测量雾化颗粒, 不仅可以给出粒度分析所需的统计数量, 而且可以给出颗粒的平均面积, 达到了雾化图像测量的要求. 在数字图像处理方面, 通过改进孔洞填充和细化算法, 使得算法有利于雾化图像的处理. 实验结果表明处理速度比传统的人工方法快很多, 而且计算雾化粒度的数量和平均半径准确, 减少了人工误差, 为生物柴油-柴油混合物雾化颗粒测量系统的研究打下了基础.

参考文献

- 1 孙桂平, 裘博, 张永亮, 张学敏. 柴油机燃用乙醇-生物柴油-柴油混合燃料试验研究. 农机化研究, 2013(11):223-226.
- 2 梁萍. 基于计算机视觉的雾滴尺寸检测系统的研究. 农业开发与装备, 2009,(11):8-10.
- 3 刘毓, 徐永安, 孙艳峰. 基于图像处理的雾滴尺寸测量分析. 农业装备技术, 2007,33(2):25-29.
- 4 方立军, 李斌. 压力式喷嘴雾化性能的试验研究. 热能动力工程, 2010,25(2):202-205.
- 5 邓巍, 何雄奎, 丁为民. 基于压力变量喷雾的雾化特性及其比较. 江苏大学学报(自然科学版), 2009(6):545-563.
- 6 李文斌, 王长松. 基于边界信息的孔洞填充算法. 计算机工程与设计, 2008,29(15):3958-3962.
- 7 张玉芳, 刘君, 彭燕. 一种改进的扫描线多边形填充算法. 计算机科学, 2005,32(6):164-166.
- 8 Geraets W GM, van Daatselaar A N, Verheij JGC. An efficient filling algorithm for counting regions. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2004, (76): 1-11.
- 9 牟少敏, 杜海洋, 苏平, 查绪恒, 陈光艺. 一种改进的快速并行细化算法. 微电子学与计算机, 2013,30(1):53-60.
- 10 余樑, 广伟. 二值图像的快速细化算法. 科技视界, 2012,14:100-112.
- 11 梅园, 孙怀江, 夏德深. 一种基于改进后模板的图像快速细化算法. 中国图象图形学报, 2006,11(9):1306-1311.