

# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXX—XXXX

## 基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性 测试方法

The rule of characteristics test for liquid fuel atomization using phase Doppler  
technique

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(送审讨论稿)

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国燃烧节能净化标准化技术委员会（SAC/TC441）提出。

本文件由全国燃烧节能净化标准化技术委员会（SAC/TC441）归口。

本文件起草单位：北京理工大学等。

本文件主要起草人：何旭等。

本标准为首次发布。

# 基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法

## 1 范围

本文件规定了采用相位多普勒技术进行液体雾化特性测试的术语和定义、测试设备、测试条件、测试步骤，明确了数据处理和测试记录的要求。

本文件适用于各种液体燃料雾化特性的测试。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**雾化特性** atomization characteristics

用来表征液体燃料喷射后形成液滴的微观特征参数，如液滴速度、液滴直径等。

### 3.2

**液滴直径** droplet diameter

指液体破碎雾化后产生的液滴的直径。

### 3.3

**液滴速度** droplet velocity

指液体破碎雾化后产生的液滴的速度。

### 3.4

**多普勒效应** Doppler effect

波源和观察者作相对运动时，观察者接收到的频率和波源发出的频率不同的现象。

### 3.5

**相位多普勒** Phase Doppler Analyzer—PDA

利用多普勒效应，同时测量液滴速度和粒径的一种方法。

### 3.6

**测量体** Probe volume

指相位多普勒测试系统中，多束激光交汇处所构成的测量空间。

### 3.7

#### 测试位置 Probe position

指相位多普勒测试系统中，测量体的中心位于测量坐标系的坐标位置。

### 3.8

#### 平均直径 ( $D_{10}$ )

液滴群中所有的液滴直径之和除以液滴数量。

### 3.9

#### 索特平均直径 ( $D_{32}$ )

液滴群中所有的液滴直径的三次方之和与平方和之比。

### 3.10

#### 体积分数直径 $DV_{0.1}$

液滴群中，直径小于  $DV_{0.1}$  的液滴的体积之和占液滴总体积10%。

### 3.11

#### 体积分数直径 $DV_{0.5}$

液滴群中，直径小于  $DV_{0.5}$  的液滴的体积之和占液滴总体积50%。

### 3.12

#### 体积分数直径 $DV_{0.9}$

液滴群中，直径小于  $DV_{0.9}$  的液滴的体积之和占液滴总体积90%。

### 3.13

#### 平均速度 mean velocity

速度的数学平均值，参与统计的液滴速度瞬时值之和除以液滴数量。

### 3.14

#### RMS速度 root mean square velocity

速度均方根值，参与统计的液滴速度瞬时值之平方和除以液滴数量后，再开平方。

### 3.15

#### 速度湍流度 velocity turbulence intensity

参与统计的液滴速度瞬时值之标准差除以平均速度。

### 3.16

#### 数据率 data rate

信号处理器每秒获得的有效数据的数量。

### 3.17

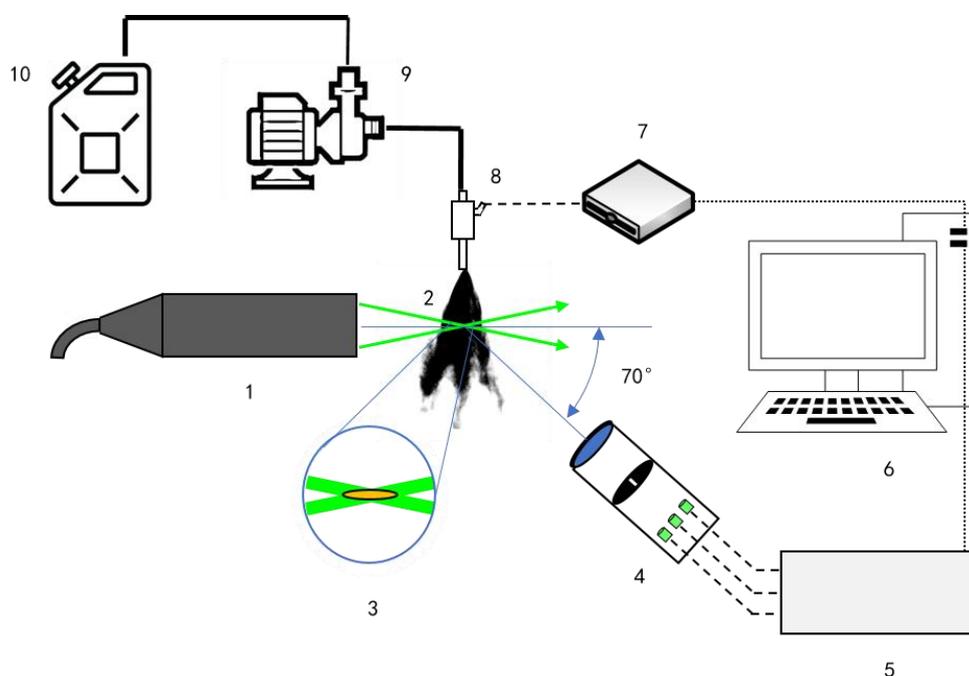
有效率 validation

信号处理器每秒获的有效数据的数量和原始数据的数量之比。

## 4 测试设备

### 4.1 液体燃料雾化特性测试系统

利用PDA对液体燃料雾化特性进行研究，测试平台如图1所示。激光由发射探头发射并在雾束中交汇于一点形成测量体。液滴经过测量体散射的光信号由接收探头收集，并传输至信号处理器，得到液滴的粒径和速度信息。通过软件对整套PDA系统进行参数设置、数据采集以及数据后处理。当测量间断喷射时，由同步控制系统发出的信号触发PDA系统与喷油进行同步。喷油器的喷射压力由加压装置提供，并由同步控制系统驱动，计算机为操作端与数据存储设备。



标引序号说明：

1—激光发射探头

2—喷雾

3—测量体

4—信号接收探头

5—频率与相位信号处理器

6—计算机

7—同步控制系统

8—喷油器

9—加压装置

10—油箱

图 1 液体燃料雾化特性测试系统示意图

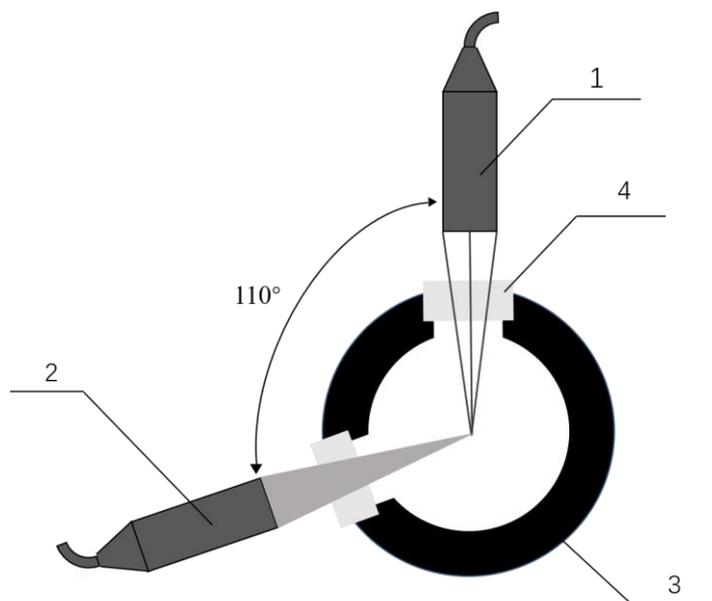
### 4.2 测试环境

#### 4.2.1 开放环境

可参考基于背光成像技术的液体燃料喷射特性测试方法中 4.2.1 规定的内容。

#### 4.2.2 受限环境

受限环境如图 2 所示，容器内部环境压力和环境温度可以根据测试要求进行调节，环境压力应小于容器最高允许工作压力。其四周需要至少安装两块光学观察视窗，相互之间呈  $110^\circ$ ，用于布置发射器和接收器。



标引序号说明：

1—PDA 发射器

2—PDA 接受器

3—容器

4—光学视窗

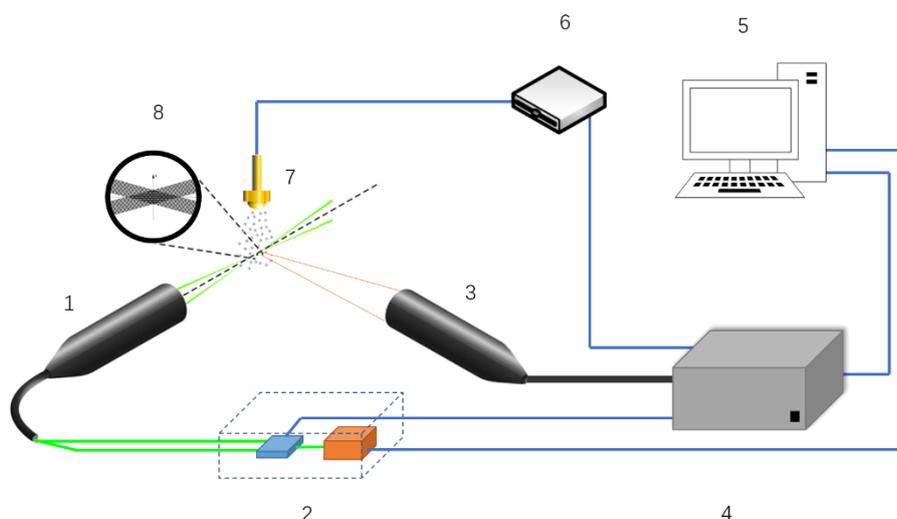
图 2 受限环境示意图

#### 4.3 燃料喷射系统

可按照基于背光成像技术的液体燃料喷射特性测试方法中 4.2.1 规定的内容参考。

#### 4.4 PDA 系统

PDA 系统示意图如图 3 所示，激光器发出激光后，经过分光光路将每个波长的激光分为两束，通过光纤或反射镜进入激光发射探头，经过前置透镜交汇于一点形成测量体。液滴经过测量体散射的光信号由信号接收探头收集，在光电转换器内将光信号转变为电信号，进入信号处理器后，根据相位多普勒原理识别每个液滴的速度及粒径，并回传至计算机。



标引序号说明：

1—激光发射探头

2—激光器及分光光路

3—信号接收探头

4—信号处理器

5—计算机

6—同步控制系统

7—喷油器

8—测量体

图3 PDA系统示意图

#### 4.5 同步控制系统

同步控制系统用于控制喷油器、PDA等测试设备的工作时序。

### 5 测试条件

可参考基于背光成像技术的液体燃料喷射特性测试方法第5章确立的测试条件。

### 6 测试步骤

#### 6.1 布置安装测试设备

布置安装燃料喷射系统、PDA系统，同时标记喷嘴周向安装位置并记录其坐标位置。

#### 6.2 PDA系统调试

##### 6.2.1 光学系统配置

设置发射探头、接收探头的口径、工作距离等。对于发动机等具有较高液滴数量浓度的喷射，应尽可能选择更大口径和更短工作距离的激光发射探头，以及更高激光功率以确保测量效果。

##### 6.2.2 激光功率调节

展开测试前，应确保激光功率进行合理优化，如逐步提高激光输出功率，检查并优化光纤耦合效率等。激光功率的选择应能满足对液滴群的穿透，穿透效果通过多个周期叠加的“喷油时刻-速度变化”曲线是否连贯进行评估。

##### 6.2.3 PDA仪器参数设置

根据PDA仪器自身特点及工作状态对仪器各参数进行合理设置，包括但不限于液体折射率、光电倍增管电压、以及不同待测位置的中心速度/频率或速度/频率范围等。

#### 6.2.4 初步调节

在喷雾场中放置加湿器，通过连续稳定的产生液滴群对PDA系统信号接收探头的俯仰/旋转接收角度及聚焦效果进行优化，以获得最优的数据率及不低于80%的有效率。

#### 6.2.5 容器加压（如果需要）

加压后由于环境密度发生改变，需要通过喷油器进行液体燃料喷射，来进一步优化信号接收探头的俯仰/旋转接收角度及聚焦效果。

#### 6.2.6 调试喷射控制参数

调试喷油器各项喷射控制参数，检查同步控制信号，确定液体燃料喷射系统和PDA系统间同步工作。

#### 6.2.7 PDA 系统精细化调节

将测量体放置于喷孔轴线下游（40mm-80mm处），使用之前设置的针对该位置的仪器参数进行实际数据采集。对于间断喷射测量，首先应通过改变发送至PDA系统的同步信号延时及脉宽，设置采集时刻仅覆盖整个喷油时刻中速度最高的部分，基于此触发信号检查此时采集到的多普勒信号波形，并通过改变信号接收探头的空间分辨狭缝/针孔，优化PDA系统的数据率、有效率、相位图有效性，确认可以获得有效的数据；继续改变发送至PDA系统的同步信号延时及脉宽，设置采集时刻覆盖整个喷油时刻，并适当延长（2mm-4ms），确保可以接收完整的喷油液滴通过测量体时的信号变化，采集约50-100次喷油循环，通过软件采集到的数据，确认可以获得高浓度液滴团通过时的液滴信息。

6.3 在软件中设置将每次喷油起始时刻对齐进行数据整理，将每次喷油过程细分为 100-200 个数据组，获得随喷油时刻时间历程的组平均速度及粒径变化曲线。

6.4 将测量体移至测量点，测量点应离喷孔出口处一定距离，避免液滴过于浓密而影响测试结果，对于密集型喷雾，此距离一般应 $\geq 40\text{mm}$ ；为确保测试数据具有统计意义及较高可信度，应能获得连续变化的速度-喷油时刻时间历程曲线。典型数据采集应不少于 100 次喷油循环。对于极高浓度喷雾工况，可以提高至 1000 次喷油循环。

6.5 记录测试相关参数，确定数据有效性，进行下一个测量位置的测试。

### 7 数据处理

7.1 对获取的原始数据进行进一步处理，获得液滴速度及粒径的统计结果，例如平均速度，RMS 速度，湍流度； $D_{10}$ 、 $D_{32}$ 、 $DV_{0.1}$ 、 $DV_{0.5}$ 、 $DV_{0.9}$ 等。

7.2 输出液滴速度、直径、直径分布图谱、平均速度和平均直径等信息。如使用坐标架进行全场扫描式采集时，还可以输出速度矢量图，各种粒径统计结果分布图等空间图谱。

### 8 测试记录

测试记录所需内容如下:

- a) 通用部分
    - 测试项目名称;
    - 测试时间;
    - 测试人员;
    - 测试地点;
  - b) 喷油器
    - 喷油器厂商、型号;
    - 喷孔直径;
  - c) PDA系统
    - 激光器厂商、型号、序列号;
    - PDA系统厂商、型号;
    - 激光发射探头型号、焦距;
    - 信号接收探头型号、焦距;
    - 激光器输出功率;
    - 空间滤波狭缝大小;
    - 各通道光电倍增管电压;
    - 测量点坐标位置;
  - d) 测试条件
    - 液体燃料种类及其折射率;
    - 环境气体种类;
    - 环境温度;
    - 环境压力;
    - 喷油器工作压力;
    - 油箱燃料温度;
    - 喷油器燃料温度;
    - 脉冲信号宽度;
    - 喷射周期;
    - 通风流量/供气流量;
    - 蜂窝板孔总截面面积;
    - 气流运动方向的容器横截面面积;
    - 液体燃料密度;
  - e) 测试结果
    - 液滴尺寸分析;
    - 液滴速度分析;
- 测试报告格式参见附录A。

附录 A  
(资料性)  
测试记录格式

表A.1 测试记录

液体燃料喷射特性测试记录			
第一部分：通用部分			
测试项目名称		测试时间	
测试人员		测试地点	
第二部分：喷油器			
喷油器厂商、型号		喷孔直径 (mm)	
第三部分：PDA 系统			
激光器厂商、型号、序列号		PDA 系统厂商、型号	
激光发射探头型号、焦距		信号接收探头型号、焦距	
激光器输出功率 (kW)		空间滤波狭缝 ( $\mu\text{m}$ )	
光电倍增管电源		发射器和接收器夹角 ( $^{\circ}$ )	
测量点坐标			
第四部分：测试条件			
液体燃料种类		环境气体种类	
液体燃料折射率		环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	
环境压力 (MPa)		喷油器工作压力 (MPa)	
油箱燃料温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		喷油器燃料温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	
脉冲信号宽度 (ms)		喷射周期 (ms)	
通风流量/供气流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )		蜂窝板孔总截面面积 ( $\text{m}^2$ )	
气流运动方向的容器横截面面积 ( $\text{m}^2$ )		液体燃料密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	
第五部分：测试结果			
序号	测试点坐标位置	保存文件名	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
.....			
第六部分：签字			
记录人签字		日期	
审核人签字		日期	
备注：			

参 考 文 献

- [1] COMMITTEE G F I S. Gasoline Fuel Injector Spray Measurement and Characterization. 2007, SAE International.
-