

全国燃烧节能净化标准化技术委员会（SAC/TC441）

# 国家标准

《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》

编  
制  
说  
明

国家标准编写工作组

2022年4月2日

## **（一）工作简况：**

### **1、任务来源及意义：**

（1）液体燃料燃烧装置广泛应用于工业、农业和交通运输等领域，通常使用喷嘴将高压（或在空气辅助作用下的）液体燃料喷射入高温空气中进行雾化混合和燃烧。液体燃料喷射的微观特性如液滴直径、速度等，对液体燃料在燃烧装置中的分布和输运、混合气形成和燃烧排放具有重要影响，是评估喷嘴性能、标定仿真模型及燃烧装置性能的重要参数。因此如何科学评价液体燃料的微观雾化特性，是燃烧系统开发的关键，对燃烧装置的节能减排具有重要意义。

虽然行业内对液体燃料喷射特性测试的需求日益增加，但目前尚缺乏相关统一标准来进行规范并评估数据可信度。不同的厂家和研究机构自行搭建试验平台，采用不同测试方法进行测试，这不仅会增加时间和经济成本，而且测试结果缺乏可比性和溯源性，不利于研究单位间的数据共享、评估和模型验证。

基于相位多普勒原理可以同时测量液滴速度和直径，在此基础上进行数据分析，获取粒径概率分布、平均尺寸、平均速度、数密度等多种统计数据，目前已经成为微观喷雾特性测试的主要工具。《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》以期通过规范相位多普勒技术在雾化特性测试过程中的相关术语，明确表征雾化特性的关键参数，制定标准试验条件、测试流程和数据分析规范，提高测试精度，对液体燃料喷射微观特性进行科学、准确、有效的评价，为喷嘴性能评估、仿真模型标定和燃烧系统设计提供数据支持；同时通过规范雾化特性测试方法，可以提高数据的可比性和追溯性。以此为基

础，建设面向行业的标准数据库，为不同研究机构和制造厂家之间数据交换共享、装置特性评估、燃烧系统开发提供支持。

2020年12月24日，国标委发[2020]53号文“国家标准化管理委员会关于下达2020年第四批推荐性国家标准计划的通知”，《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》国家标准项目提案正式立项，项目编号：20204996—T—469，由全国燃烧节能净化标准化技术委员会（TC441）归口管理。

## 2、工作过程：

（1）2020年04月20日，根据国标委发〔2020〕9号“国家标准化管理委员会关于印发《2020年国家标准立项指南》的通知”文件要求，标委会向各单位征集了2020年国家标准立项项目提案。北京理工大学等单位向TC441上报《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》项目提案；2020年6月，标委会组织全体委员进行了网上投票，并按照有关程序上报了对应的纸质文件。

（2）2020年8月18日，接国家市场监督管理总局国家标准技术审评中心“关于召开2020年装备材料与交通能源领域第六次推荐性国家标准立项评估会的通知”，2020年8月26日，按照会议通知要求，参加了本项目国家标准立项评估网络视频答辩工作，顺利完成答辩工作。

（3）2020年12月24日，国标委发[2020]53号文“国家标准化管理委员会关于下达2020年第四批推荐性国家标准计划的通知”，全国燃烧节能净化标准化技术委员会归口管理的《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》（项目编号：20204996—T—469）标准正式立项。

(4) 2021年04月20日,全国燃烧节能净化标准化技术委员会“燃标字(2021)003号”文:成立《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》国家标准编写工作组,人员构成如下:何旭(北京理工大学)任组长,林其钊教授(中国科学技术大学)任副组长,工作组成员包括:王宇满(北京理工大学)、李雁飞(清华大学)、王井山(潍柴动力股份有限公司)、贾德民(潍柴动力股份有限公司)、宋澜波(湖南华菱涟源钢铁有限公司)、刘涛(西南科技大学)、张海涛(安徽省特种设备检测院)、张尧(北京麦迪光流测控技术有限公司)、白冰(广西银翼动力科技有限公司)、钱多德(安徽江淮汽车集团股份有限公司)、赵礼飞(安徽江淮汽车集团股份有限公司)、徐玉良(安徽全柴动力股份有限公司)、王高峰(浙江大学)、李向荣(北京理工大学)、魏文品(中微机电科技股份有限公司)、张其林(博瑞特热能设备股份有限公司);秘书组成员:徐咏梅(全国燃烧节能净化标准化技术委员会)。

(5) 2021年6—8月,鉴于疫情安全考虑,不便于现场开会讨论,将《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》(工作组讨论稿)的草案及编制说明发送给编写组相关专家征求意见后,形成了征求意见稿;

(6) 2021年9—11月,将《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》(征求意见稿)及编制说明发给各位相关单位、团体、委员、专家,并在国标委系统上同步广泛征求意见。

(7) 2021年12月,对《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特

性测试方法》（征求意见稿）的意见汇总进行整理和修正形成送审讨论稿，共收集意见22条最终采纳修正19条，未采纳3条（有意见13条，无意见9条）。

（8）2022年1月7日，将《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》（送审讨论稿）及编制说明发给各位相关单位、团体、委员、专家，并在标委会网站上同步广泛征求意见。

（9）2022年3月-4月2日，对《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》（送审讨论稿）的意见汇总进行整理，共收集意见77条（其中有意见65条，无意间12条），对有意见的采纳修正43条，未采纳20条，部分采纳2条，最终形成送审稿。

（10）2022年4月7日，秘书处将《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》（送审稿）及编制说明等资料按照要求上传国标委系统，下一步按程序将开展审查工作。

（11）2022年5月30日至今，“关于召开《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》国家标准线上视频审查会的通知（燃标字〔2022〕007号）”展开审查会。。。。。

## （二）标准编制原则、主要内容及其确定依据。

### 1、标准编制原则

本标准的编制遵循“系统性、科学性、统一性、协调性、适用性、规范性”的原则，注重标准的可操作性和利用方便性。

本标准依据GB/T1.1—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》的规定要求，确定标准的结构和组成要素；坚持科学性原则，标准模式与理论基础及标准要求之间具有清晰的逻辑关系，即理论-模式-标准要求，逐层转化，作到结构合理、层次清晰、体现科学性原则；坚持先进性和实用性相结合的原则，既广泛吸收经典术语和词汇，又吸收和借鉴先进概念；坚持可操作性原则，即标准应在具有广泛的适用性的基础上，有较高的可操作性。

## 2、标准主要内容

本标准规定了在以液体为燃料的燃烧装置中，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、试验设备、试验条件、试验步骤、数据处理和试验报告的要求。

本标准适用于各种喷射液体燃料的燃烧装置，如活塞式发动机、燃气轮机、燃烧器等。其它液体雾化装置可参照执行。

### **（三）试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；**

在我国能源消费体系中，以石油为代表的液体燃料占有重要地位。由于液体燃料便于运输、存储安全，广泛应用于交通运输、工业窑炉、用热设备等。将液体燃料雾化成小液滴是进行燃烧的必要步骤，因此液体燃料的雾化特性很大程度决定了燃烧的品质和排放性能。

在液体燃料喷射过程中，初始压力所具有的势能转化为喷雾的

动能，在气动力、惯性力、粘性力和表面张力等各种力的作用下，连续的雾注发生分裂破碎成小液滴，并在高温环境中蒸发混合。其中液滴直径和液滴速度是描述液体燃料雾化特性的重要参数，在研究液体燃料雾化的过程中起到重要作用，对液体燃料的燃烧效率、污染物排放具有显著影响，越来越为研究人员所重视。

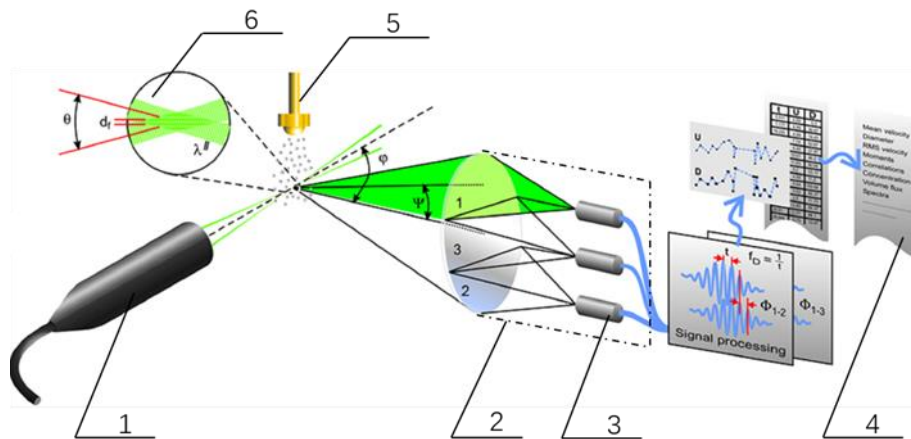
早期由于受实验条件和测试手段的限制，喷雾特性的研究主要集中在喷雾的宏观特性上，随着现代各种先进测试手段的改进，使得观测喷雾内部结构及分布等微观特性成为可能。

对于喷雾液滴粒径和速度分布，国内外已经进行了大量的实验研究。通常采用各种表征直径的特征参数来判断雾化的优劣，如平均直径、索特平均直径、体积分数直径 $DV_{10}$ 、 $DV_{50}$ 和 $DV_{90}$ 等，用以表示喷雾粒子总体上的大小和液滴尺寸的概率密度分布。同时，可以利用该系统测量喷雾粒子的速度分布，作为评估喷雾雾化效果的重要参数之一。

由于目前尚缺乏相关统一标准来进行规范并评估数据可信度，造成试验结果无法进行对比，因此需要制定统一的基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法。《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》的建立有利于测试流程的标准化发展，便于研究人员之间的相互交流和对比验证，节约了人工与时间成本，具有重要的社会和经济效益。

相位多普勒系统测量液滴速度的原理为激光的多普勒效应，如图1所示，两束具有相同波长的相干激光汇聚于一点，形成测量

体，测量体处产生干涉条纹。当两束激光的波长和夹角已知时，即可得到干涉条纹的间距。当液滴以一定的速度经过测量体时，由于干涉条纹的存在，其散射光的光强也以一定的频率发生周期性变化。通过测量光强变化的频率，结合干涉条纹的间距，即可得到液滴在干涉条纹垂直方向上的速度分量。若有三组波长不同且方向不同的入射激光，则可以实现液滴三维速度的测量。测量液滴粒径的原理为洛伦兹-米氏散射理论，通过测量相位差即可得到液滴直径，并且无需对测量结果进行标定。



标引序号说明：

1——激光发射探头；

2——信号接收探头；

3——光电探测器；

4——数据分析；

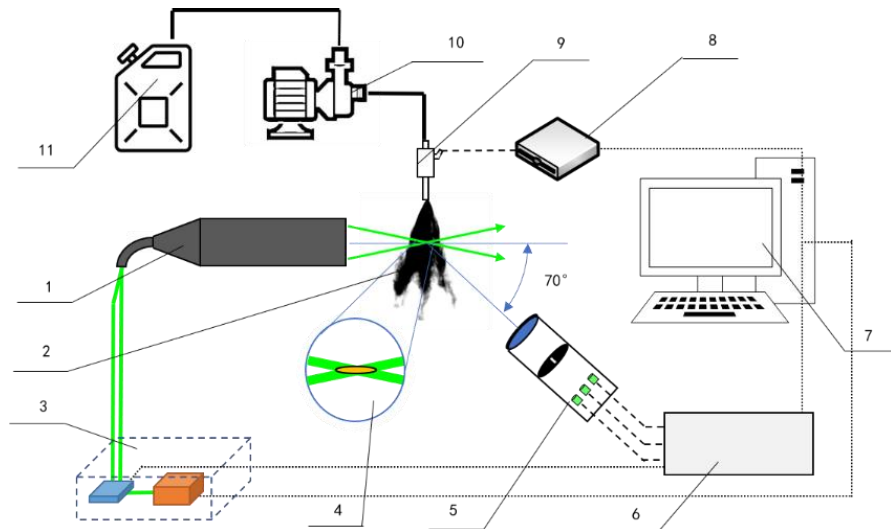
5——喷油器；

6——测量体。

图1 相位多普勒测量原理

典型的相位多普勒粒子测试系统如图2所示。





标引序号说明:

- |           |          |             |           |
|-----------|----------|-------------|-----------|
| 1—激光发射探头; | 2—喷雾;    | 3—激光器及分光光路; | 4—测量体;    |
| 5—信号接收探头; | 6—信号处理器; | 7—计算机;      | 8—同步控制系统; |
| 9—喷油器;    | 10—加压装置; | 11—油箱。      |           |

图 2 相位多普勒测试系统示意图

该系统的测量实质是将两束激光汇聚到一个空间的焦点处，在软件中开始采集后，捕捉一段时间内经过此处的所有粒子，记录粒径与速度信息，并进行统计计算。通过移动上述焦点的位置，可以对喷雾中不同空间位置处粒子进行测量。由于该系统通过激光测量，所以不会影响喷雾流场的流动，减少了对流场的干扰，使得测量结果更为准确，同时，该系统还具有信号采集稳定和粒径测量时间响应迅速的优点，因此对喷雾中粒径大小和速度的测量精度较高。

国内有学者利用相位多普勒粒子测试系统进行过发动机喷雾雾化特性测试，主要测量了在不同喷射压力、喷孔直径和背压条件下，喷雾索特平均直径的变化情况。

图3是在不同喷射压力条件下喷雾雾化特性。从图中可以看出，随着喷射压力增加，喷雾的索特平均直径逐渐减小，累计体积分布

曲线开始向粒径较小的方向移动，这是因为随着喷射压力的增加，喷孔内部以及近喷孔区域的湍动能强度会增加，喷孔附近油滴的初始动能和初始速度增加，较高的初始速度增加了油滴与空气间的相互作用，形成更高的空气卷吸，促进了燃油的雾化。

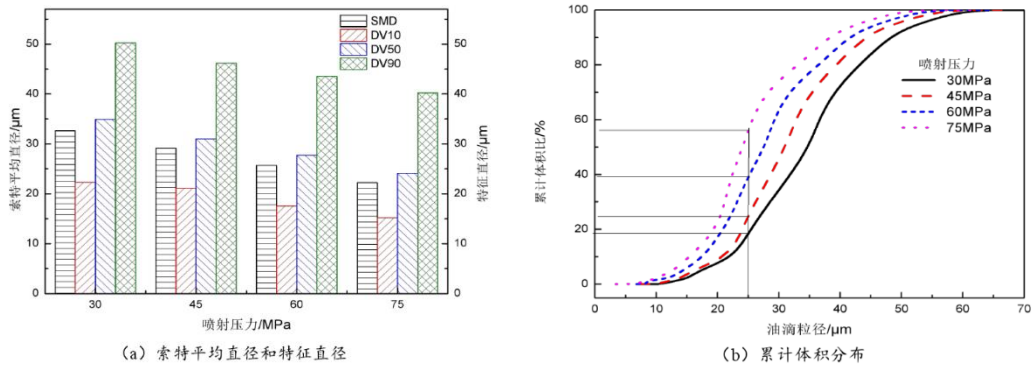


图3 不同喷射压力条件下喷雾雾化特性

图4是在不同喷孔直径条件下喷雾雾化特性。从图中可以看出，随着喷孔直径增加，喷雾的索特平均直径逐渐增加，累计体积分布曲线开始向粒径较大的方向移动。这表明喷孔直径的增加使得雾化油滴的粒径增加且所有油滴中粒径较大的油滴占比增加，这是因为当喷嘴长度不变而喷孔直径变大时，喷孔内部湍动能所在的空间区域增加，湍动能所在区域更加分散，使得油滴的运动更为稳定，难以达到破碎所需的能量，所以其索特平均直径值更高。

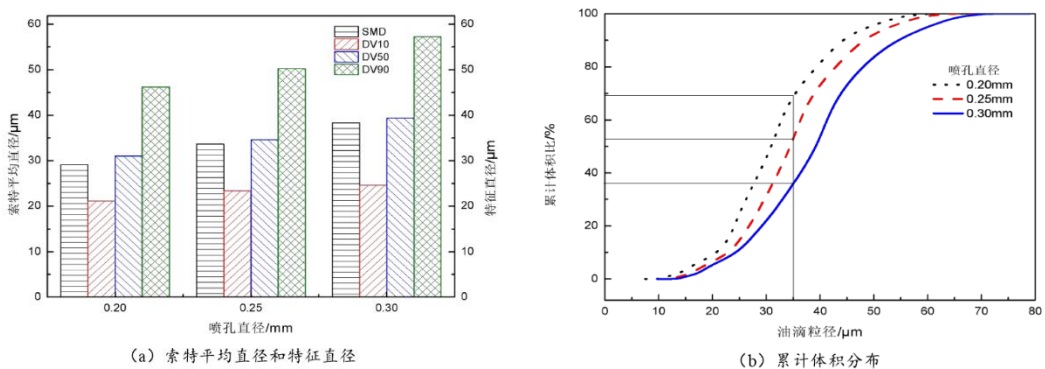


图4 不同喷口直径条件下喷雾雾化特性

图5是在不同背压条件下喷雾雾化特性。从图中可以看出，随着背压增加，喷雾的索特平均直径逐渐增加，累计体积分布曲线开始向粒径较大的方向移动。这是因为当喷射压力不变，背压升高时，喷孔进出口的压差会降低，喷孔内部的湍动能降低，使得油滴在近喷孔处的初始速度降低，较低的初始速度使油滴与空气之间的相互作用减小，更难突破油滴维持自身形态的力而破碎，因此雾化油滴的粒径较大。

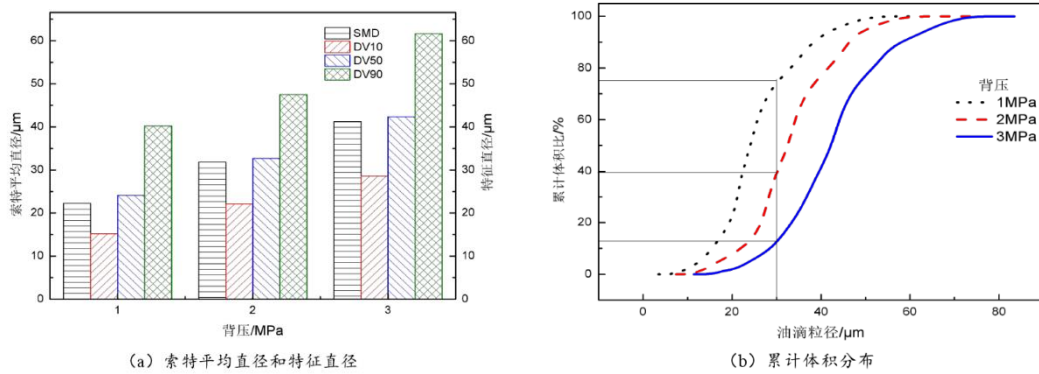


图5 不同喷口直径条件下喷雾雾化特性

综上所述，开展液体燃料雾化特性测试有助于了解喷射过程破碎机理，评价雾化效果，为燃烧系统设计提供支持。但由于目前尚无液体燃料雾化特性测试标准，不同单位之间的测试装置、试验方法和数据误差都不相同，试验特征参量需要明确，试验操作规范需要统一，试验数据精度需要提高。可见科学评价液体燃料的雾化特性，是燃烧系统开发的关键，对燃烧装置的节能减排具有重要意义，因此急需制定液体燃料喷射特性测试标准。

本标准针对以液体为燃料的发动机、工业窑炉、燃烧器等用热设备，充分考虑研发、生产、检测过程中喷嘴喷射雾化特性评估需求，通过定义专用术语，提高雾化特性测试通用性；规范测试流程，提高雾化特性测试重复性；确定关键参数，提高雾化特性测试精确性。该标准可以广泛用于汽车、轮船和航空发动机、工业窑炉、燃烧器等用热设备的燃烧系统设计和制造领域，并进一步引领行业发展，提升产品品质，增强竞争力，对节能减排国家战略的实施具有重要的社会和经济效益。

**（四）与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况；**

基于相位多普勒技术的液体雾化特性测试方法在燃烧装置的液体燃料喷射特性测试领域使用广泛，目前国内外尚无同类标准。

本标准的编制将基于相位多普勒技术的液体雾化特性测试方法的标准处于世界领先水平。

**（五）采标情况，以及是否合规引用或采用国际国外标准；**

本标准无采标情况，没有引用或采用国际国外标准。

**（六）与有关法律、法规的关系；**

本标准与现行法律、法规和强制性国家标准不存在任何冲突、矛盾或重复；

**（七）重大分歧意见的处理经过和依据；**

本标准在制定过程中未出现过重大分歧意见。

**（八）涉及专利的有关说明；**

本标准不涉及专利。

**（九）贯彻国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议；**

本标准发布后，应组织相关教育、科技、文化、设计、制造和用户对标准进行宣贯，统一基本概念的表述，消除或减少歧义，规范相位多普勒技术对液体燃料雾化特性进行测试所需要的试验条件、测试步骤、数据处理等相关流程，更好的构建低碳型和谐社会，支持节能减排国家战略的实施。

**（十）其他应当说明的事项。**

无。

《基于相位多普勒技术的液体燃料雾化特性测试方法》

国家标准编写工作组

2022年4月2日