

SprayMaster

基于片状激光照明成像的
先进喷雾测量系统



LAVISION

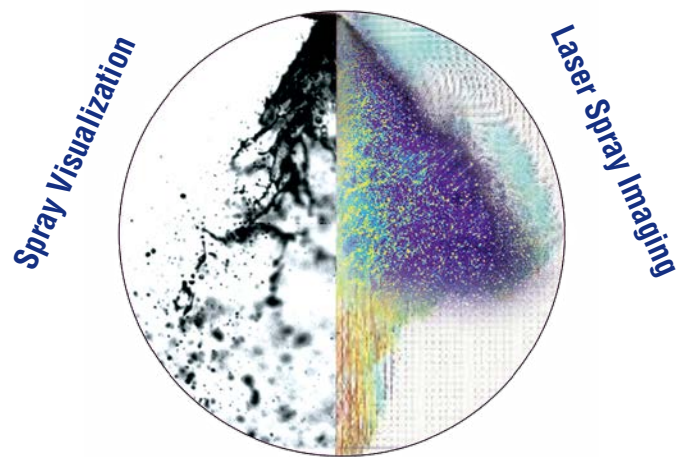
FOCUS ON IMAGING



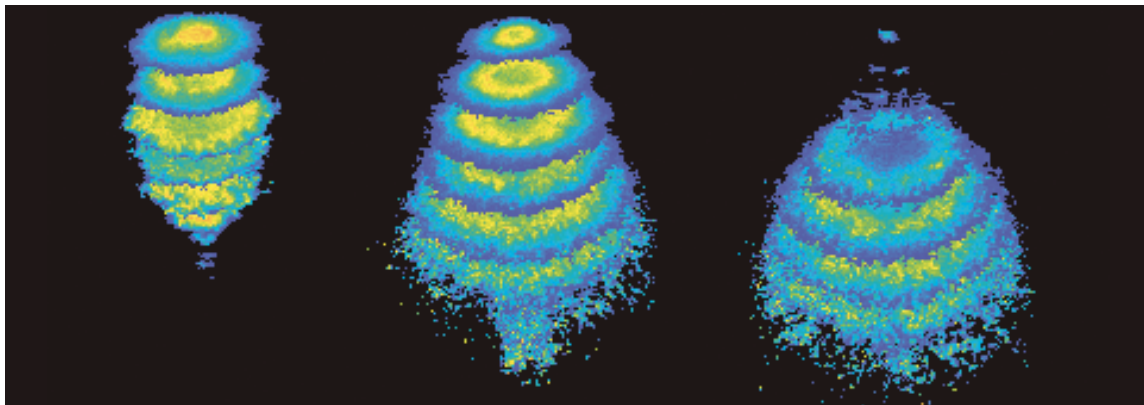
SprayMaster是当下顶尖的喷雾特征成像系统。**SprayMaster**采用创新测量技术，可以帮助我们深入了解认识常规和复杂喷雾过程，从而能以更高性价比、更高效研发更智能化的喷雾系统。

基于片状激光照明的平面测量拥有出色的空间和时间分辨率。不同的激光成像技术的独特结合，使在几乎相同配置的系统上也可实现多种参数的测量。

SprayMaster是一种易于操作、快速高效的测量工具，适合研发及质量控制等应用。



LaVision竭诚为用户服务：始终同用户密切合作，用创新的解决方案，解决用户特定的测量需求。开发集成的具有独特个性化测量功能，即开即用的喷雾成像系统我们的！



一个脉冲喷雾的时间演变：喷雾整体的质量分布时间演变过程



SprayMaster 应用

燃烧

- ▶ 燃油燃烧器
- ▶ 发动机喷雾（汽油和柴油）
- ▶ 燃气涡轮机

喷涂及添加

- ▶ 喷漆
- ▶ 绝缘和封装

处理

- ▶ 加湿和雾化
- ▶ 洗涤和清洁
- ▶ 消防（自动喷水灭火系统）
- ▶ 农业

生产加工

- ▶ 干燥和冷却
- ▶ 泡沫和粉尘控制

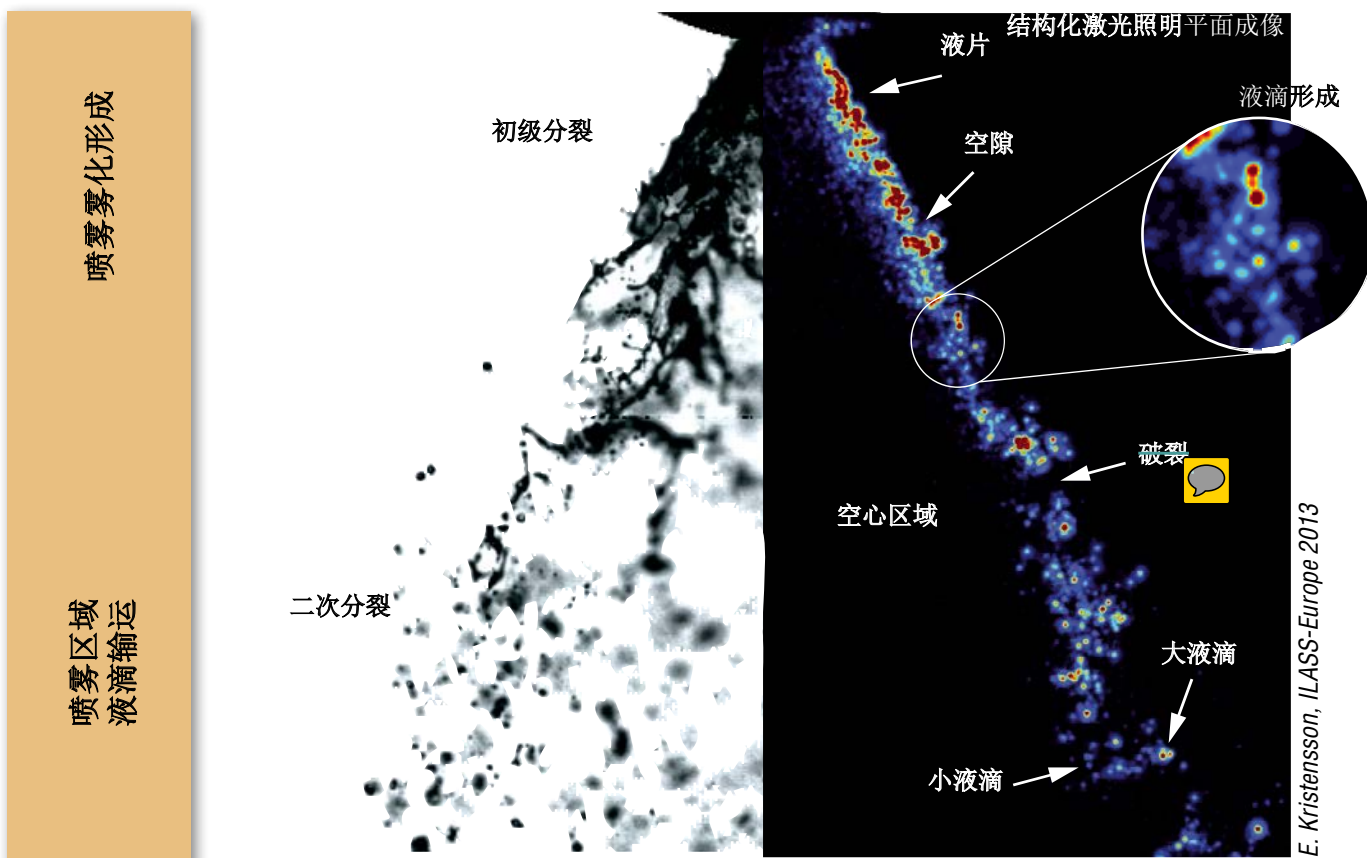




喷雾过程的主要任务就是将液体转化为特定尺寸范围和分布的细微液滴。涉及的过程有：液体结构分裂形成液滴，再进一步雾化成更小的液滴。最终，液体可能蒸发，并与周围的气体混合。

这种复杂多级喷雾形成过程必须针对每种预期的应用进行优化。例如，对于涂层、喷涂和加湿处理而言，喷雾和某一表面的相互作用过程是很重要的。而对于燃烧喷雾，渡越、蒸发和燃气混合度是确保在燃烧室壁不会形成液态膜的极其重要的工艺参数。

喷雾可视化 片状激光成像



E. Kristensson, ILASS-Europe 2013

蒸发
喷雾表面相互作用 膜的形成

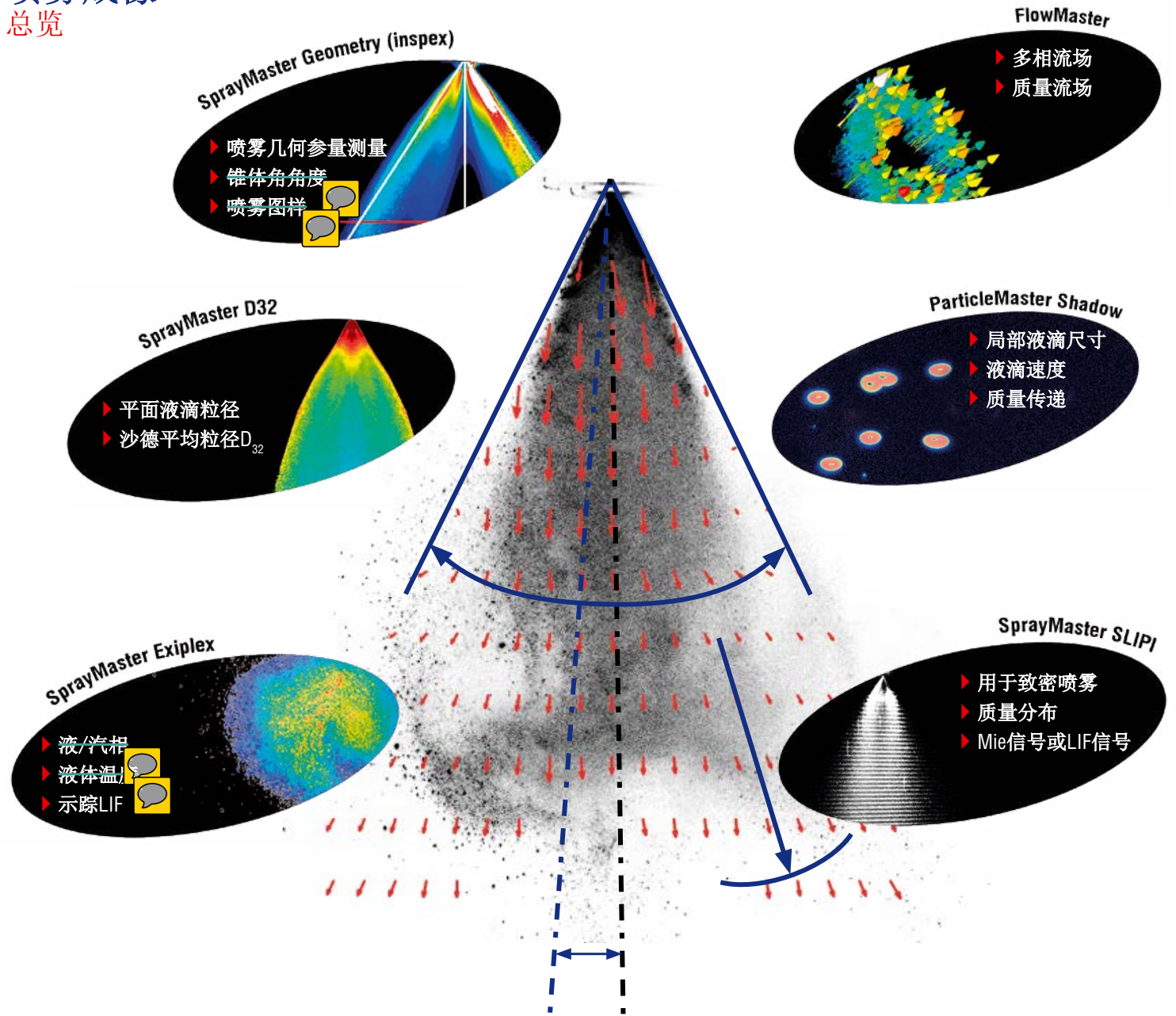
由于这些喷雾过程发生在毫秒级时间尺度以及毫米级空间范围内，因此喷雾应用诊断就需要极高的空间与时间分辨率，且不可干扰喷雾过程。基于片状激光成像的光学诊断方式是最佳实现途径。

激光成像可应用于宏观与微观测量；定性与定量喷雾表征；平面与立体成像；单次与高速成像。

- 片状激光成像优势：**
- ▶ 瞬时（瞬态）喷雾可视化
 - ▶ 出色的空间和时间分辨率
 - ▶ 非介入式喷雾测量
 - ▶ 通用技术支持多参量喷雾测量



喷雾成像 总览



喷雾传播：几千赫兹频率下的高速成像



用户可以使用LaVision公司的**SprayMaster**系统对几乎所有类型的喷雾，包括连续喷雾、周期性脉冲或瞬态喷雾等进行测量获得精准的喷雾数据。

SprayMaster inspex版本基于背光或者片光技术用于常规喷雾图样的几何测量。另外，定制的图形用户界面（GUI）支持远程系统控制，这正是质量控制方面应用最需要的。

SprayMaster系统利用激光片光成像测量瞬时液（气）相喷雾质量分布和平面液滴大小（ D_{32} ）分布图，还可以通过PIV技术实现喷雾流场的测量。

大尺度成像技术采用扩展背光或片光照明技术同时支持高分辨率下用于单个微米级别的液滴成像。

（激光）喷雾成像的准确时序设置由**SprayMaster**系统来控制，使其在连续喷雾下具有可变的曝光次数，在周期性喷雾下具有自动相位扫描并且能够精确地高速记录瞬态喷雾现象。

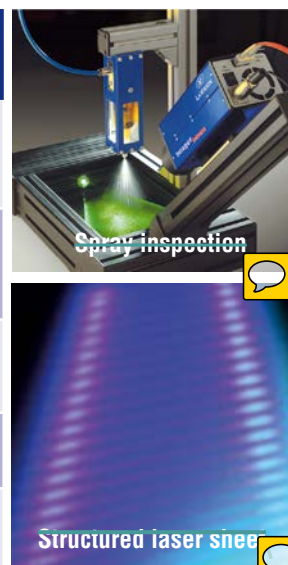
结构化激光照明平面成像（SLIPI）—应用空间光强调制激光片光技术可有效降低致密喷雾成像时的多次散射造光，这是一种新型的激光成像技术。

SprayMaster系统的主要性能特色：

- ▶ 集成和模块化的喷雾成像系统
- ▶ 全面的喷雾成像分析软件（DaVis）
- ▶ 完整的硬件控制和高精度的信号标定
- ▶ 用于工业喷雾测试的强大系统



喷雾参数	喷雾成像技术	照明	产品（应用）
几何形状 图案成像	米氏散射 阴影法 米氏散射	全局照明 背光照明 片光照明	SprayMaster inspex (质量控制)
质量分布 平面液滴尺寸 物相分离	LIF LIF/米氏散射 LIEF	激光片光	SprayMaster (R&D) Geo D32 LIEF
流场 质量流量	PIV LIF*PIV	激光片光	FlowMaster SprayMaster Flux
致密喷雾成像	结构化激光照明 平面成像	结构化激光片光	SprayMaster SLIPI
局域液滴尺寸	阴影法 干涉米氏成像	背光照明 激光片光	ParticleMaster



Mie 米氏散射是一种由于表面的相互作用引起的弹性光散射，散射光波长不变。散射信号强度与液滴表面积成正比。

LIF 激光诱导荧光（LIF）包含激光吸收和随后发射不同波长光这两步过程。因此，信号的强度与液滴体积或者（蒸汽）质量浓度成比例。

LIEF 激发态复合物示踪剂发射的物相敏感LIF信号可用于研究气液转化过程和蒸发过程。

LIF/Mie 激光诱导荧光/米氏散射图像比率能够提供以沙德平均直径（SMD）或 D_{32} 分布图表示的平面液滴直径分布。经过标定后可给出绝对粒径信息。

LIF*PIV 记录激光诱导荧光*米氏散射信号可以实现垂直于激光片的平面质量流测量。

SLIPI 结构化激光照明平面成像（SLIPI）技术使用空间调制激光片光用于米氏散射和激光诱导荧光成像，结合特殊的图像处理技术旨在减少致密喷雾中液滴多次散射的影响。

Shadow IMI 阴影法和干涉米氏成像（IMI，应用于激光片照明区域）主要用于喷雾区域内局部测量体积中的单个液滴的探测。这两种技术均可用于 D_{32} 液滴直径分布图的绝对量值标定。



非接触式光学喷雾质量系统

SprayMaster inspex 提供了在短时间内以高重复性测量喷雾图样的高性价比的解决方案。是个人护理、美容、香水产品、家庭护理和类似喷雾对象的理想测试工具。

高度集成测试和数据生成程序可显著增加每天测试样品的数量。

测量平面可大范围调节的预装调设置将系统安装和变更时间降到最小。

喷雾泵或压力容器产生的所有类型的气溶胶、非气溶胶和喷雾粉末等都可以用一种仅简单地用片光照明的非接触式光学测量方法来测试。

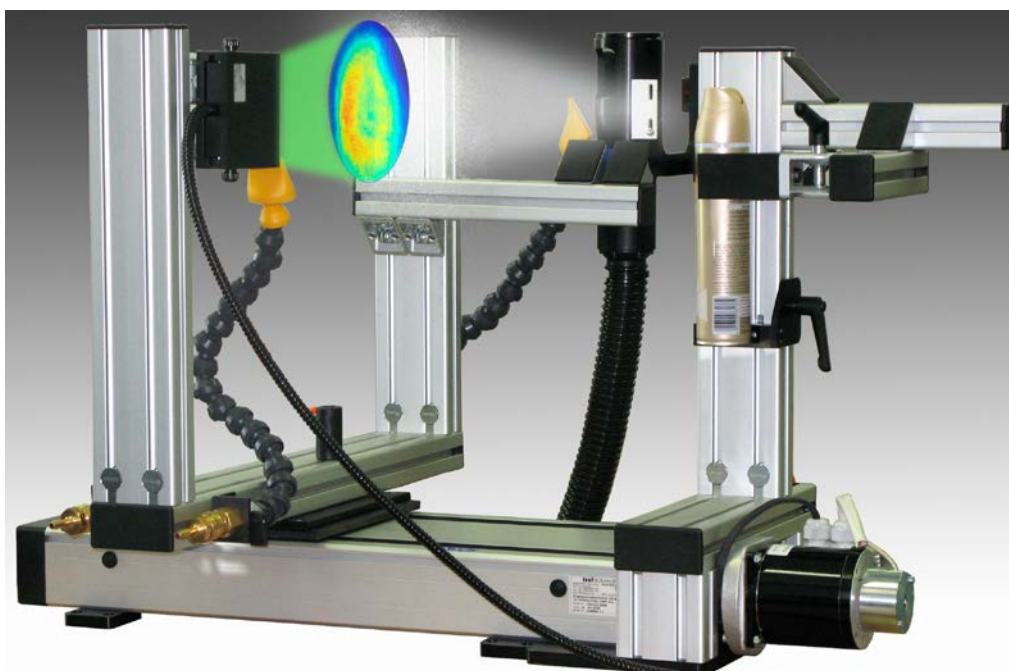
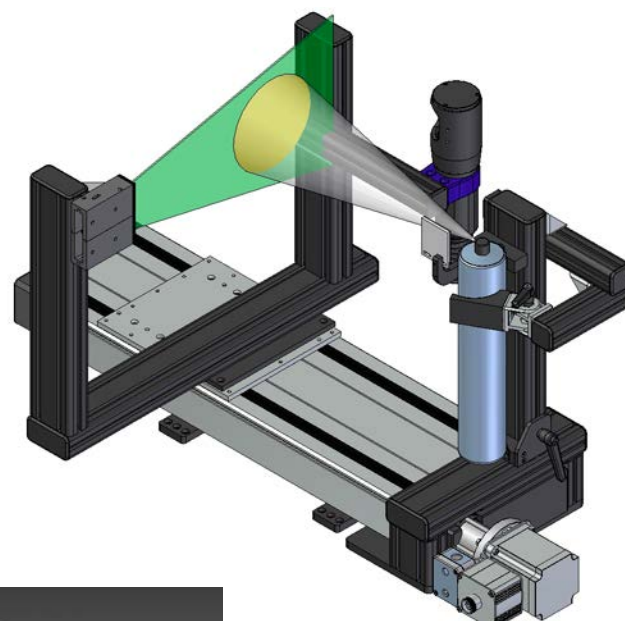


最先进的客观测试方法

非接触式光学喷雾图样成像法不受喷雾组份限制：水、酒精或油基液体、低或高粘度溶液、透明的与不透明的液体以及粉末等都可以用一个相同的系统来测量。

集成相机采集的喷雾图像经由计算机处理，有效消除了任何来自于测试人员主观性。这就保证了获得可重复，不受操作者干扰的测试结果，所需时间和手动或半自动测试方法所需时间相比微不足道。

SprayMaster inspex系统的灵活设计使之特别适用于从R&D研发到产品质量控制以及批量测试中的常规例行喷雾特性表征测量。



SprayMaster inspex 组件

SprayMaster inspex 系统充分利用了灵活的光导臂。光源位于喷雾区域或者测试室的外边，这就将照明装置的所有电气部分远离了喷雾对象。

- ▶ 对眼安全的闪光灯或LED灯照明
- ▶ 先进的光纤片光成型技术
- ▶ 通用的安装设置

紧凑型相机

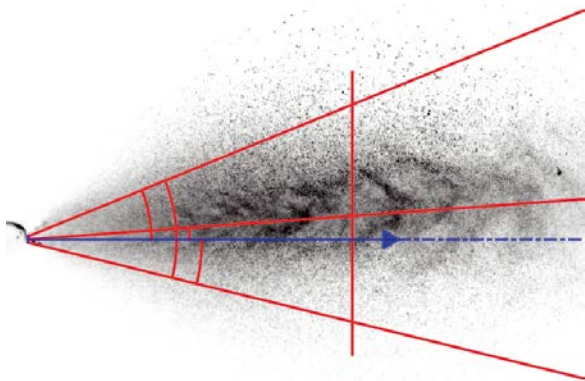
选择紧凑型相机和镜头组成一套小尺寸并固定的装置。水密外壳和保护性的空气净化装置，最大程度地降低了喷雾产品造成的污染。

光学喷注分析

与纸张测试法相比，光学喷雾分析也可在喷雾传播的方向上进行。

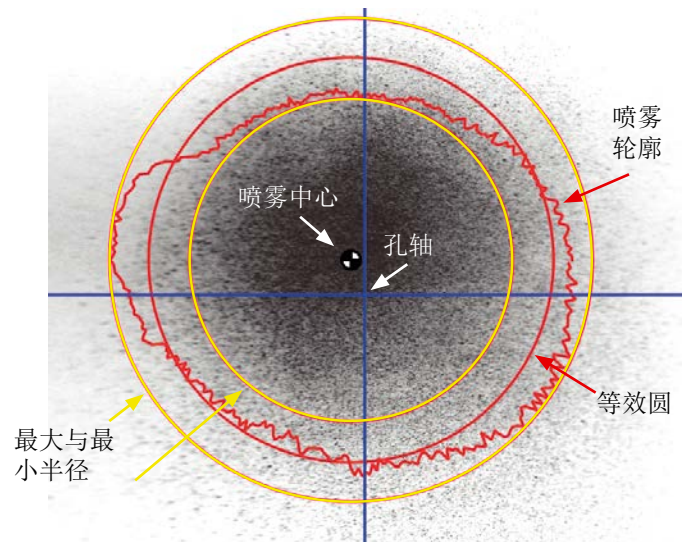
可将片光投影到喷注的同一平面，也可用全场背光照明将喷注投影到相机的感光面。

两种配置都可以直接捕捉锥形喷雾图像并测量它的锥角和主轴方向。



光学喷雾图样分析

用一束薄片光对喷雾做非接触式径向切面取代了常规的纸张测试法以及机械图样测试等两种常规方法。相机捕捉片光与喷注在确定平面位置的相交界面，并可随即根据拍摄图像生成喷雾图样。



喷雾图样特性测量

喷雾轮廓: 基于客观和可重复自动算法生成

喷雾面积: 喷雾图样轮廓内区域的总面积

中心: 自动检测喷雾中心的位置以及它相对于机械喷雾轴的位置

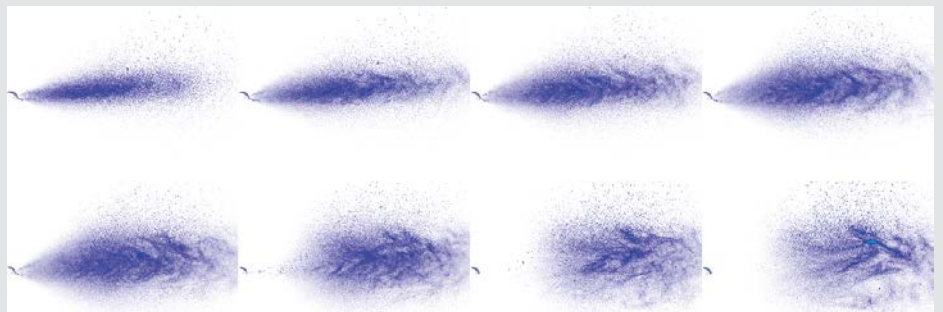
喷雾直径: 和喷雾图样面积相同的等效圆形的直径

圆度: 喷雾图形的最短和最长延伸表征喷雾图样和一个圆形的匹配程度。

喷雾形状: 喷雾密度的角度剖面图显示了喷雾在某个方向上传播的分量，反映了喷雾图样的均匀性。

时间分辨喷雾演化过程

采用快速帧采集相机，SprayMaster inspex能够以慢镜头记录喷雾冲击变化。这使得我们可以用时间分辨的方式来细致分析喷雾过程的每个阶段。最开始的断裂和喷雾终结时刻会显示和平均喷注不同的行为，而它们往往影响整体喷雾质量。





SprayMaster inspex 用于燃油喷雾测试

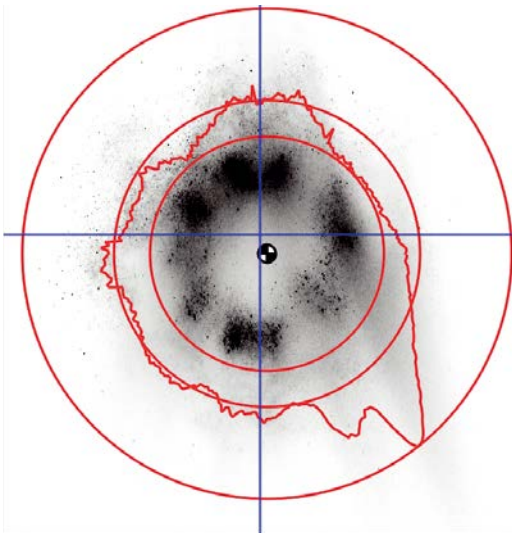
SprayMaster inspex 是一种通用的、易于使用的燃油喷雾几何量测试工具。

利用标准相机或高速相机直接拍摄成像获得喷雾锥大小、形状和演变过程。极短的光学快门或频闪光照明可将喷雾运动凝固下来，将喷雾羽化发展变化的各个阶段中的卷曲现象静止下来。

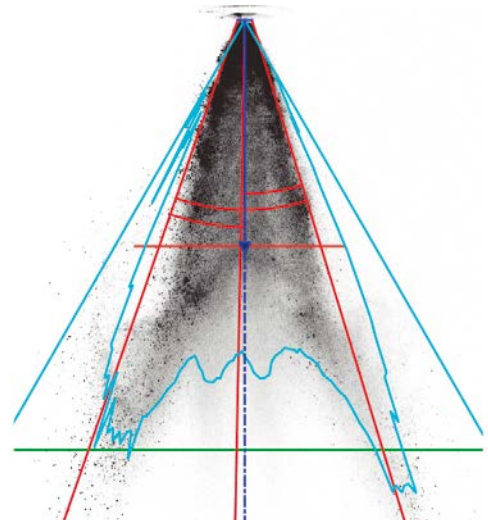
该系统可广泛应用于各种类型的燃油喷雾，如柴油、燃油、直喷汽油或燃气涡轮喷雾。喷雾测试腔可配备对人眼安全、无激光的光学 SprayMaster inspex 测试系统。Lavision 独特的光学设计，不用激光产生薄的光片。还可用背光或闪光灯提供全场照明。



Image courtesy of Sonplas GmbH



Multi-hole GDI spray pattern with centroid, 50% and 80% mass circle



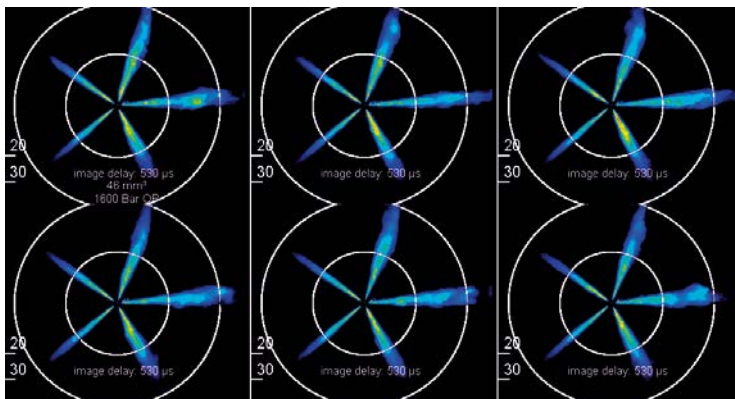
时间分辨高速测量

基于高速摄像机及合适的照明系统，SprayMaster inspex 系统可以在非常短的时间内记录多个喷雾冲程。

在质检中，高速相机能在很短的时间内完成大量的测试，投资能快速得到回报。因为具有良好的统计相关性，几十个喷雾冲程记录就足以得到喷雾发展的所有信息。

使用高速相机的好处是：

- ▶ 对每个喷雾冲程都是完全时间分辨测量
- ▶ 得到喷雾锥演化稳定性的信息
- ▶ 大幅减少测试所需喷射次数，研究更多种条件下的喷雾
- ▶ 显著减轻喷雾腔污染，运行时间更长，安装搭建时间更短



High-speed recording of a Diesel spray



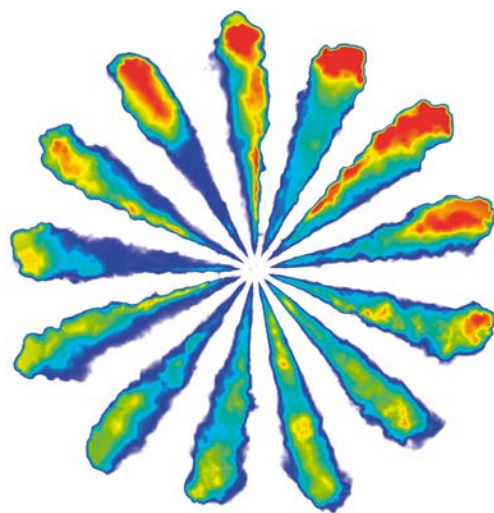
轴向喷雾切面：喷雾羽化的几何结构和传播

轴向切面平行于喷雾传播方向。测量可以用光片、全局照明或背光。用下列这些方法之一，可以直接根据图测量喷雾锥角：

- ▶ 从喷口到给定距离（单或多个平面）
- ▶ 通过对喷雾边缘环形的内插值
- ▶ 通过对喷雾羽分布的积分
- ▶ 弯曲角（与孔轴线的偏差）——两个半角表示喷雾羽流的对称性和方向

其他测量：

- ▶ 绘制喷雾贯穿度随时间的变化来表征喷雾的传播
- ▶ 角标图显示喷雾均匀性



喷雾径向切面：喷雾图样分布

径向切面即垂直于喷雾轴的片光和喷雾体的横截面。这种布局测试的结果可与机械喷雾图样测试结果做对比。测量值有：

- ▶ 喷雾面积及当量直径
- ▶ 根据SAE定义的质量圆直径
- ▶ 基于喷雾图像强度分布的质心定位
- ▶ 到图样边缘的最长和最短半径
- ▶ 喷雾分布的径向和角向平面图（揭示喷雾羽流的结构特征）

多孔喷油器

对于柴油喷射器和多孔汽油喷射器来说，获取每个喷雾锥的稳定性和均匀性详细信息是必要的。个别喷雾冲程的时间分辨率可以用来对比不同喷雾冲程的稳定性。

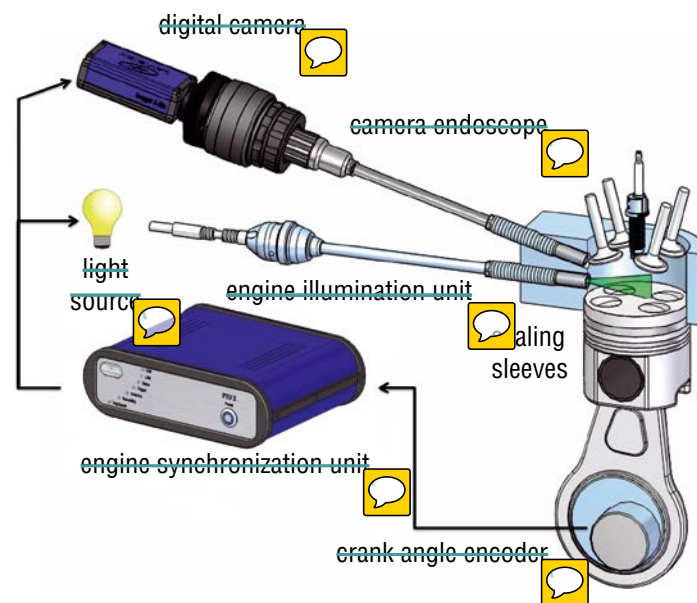
对多孔/多锥喷雾每个锥形分别进行处理，可提供均匀喷雾的演变信息。

发动机内喷雾测量

LaVision可用内窥镜和照明探针对运行中的发动机内部进行成像和照明。

EngineMaster inspex由**SprayMaster inspex**直接升级，可在发动机试验台上进行同步测试。

仅对发动机做微小的改动即可直接实现内部燃油喷雾可视化测量。



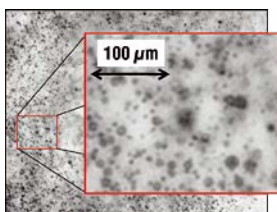


ParticleMaster Shadow

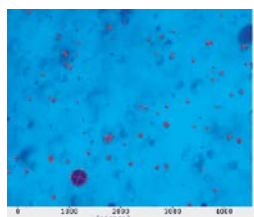


基于液滴图像阴影投影的阴影法测量，可用于喷雾（局部）中感兴趣位置一个小体积处的测量。可以得到定量的绝对值结果。LED和激光器均可以作为背光照明显源。另外，利用长工作距离显微镜可检测非常小的液滴，同时确保高放大倍率和更安全的工作距离。

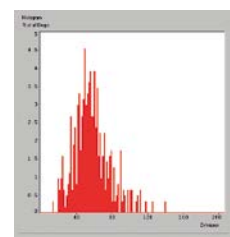
- ▶ 液滴的大小和速度，及相关性
- ▶ 液滴形状（偏心）
- ▶ 统计数据，柱状图 (D_{10} , D_{32} , DV_{50})



Raw image



Detected droplets



Particle size histogram

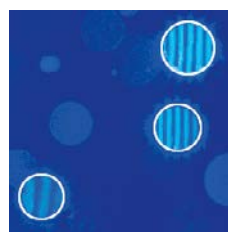


ParticleMaster IMI

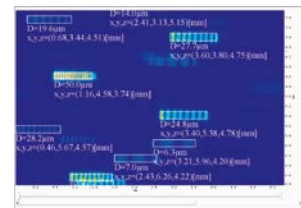


针对稀疏喷雾的测试，推荐干涉Mie散射成像方法（IMI），利用激光片光源可观察到比阴影法更大的面积。在前向散射方向记录的离焦干涉条纹图案中条纹的频率包含了液滴的粒径信息。

- ▶ 液滴尺寸和速度
- ▶ 尺寸/速度相关性
- ▶ 统计数据，柱状图 (D_{10} , D_{32} , DV_{50})

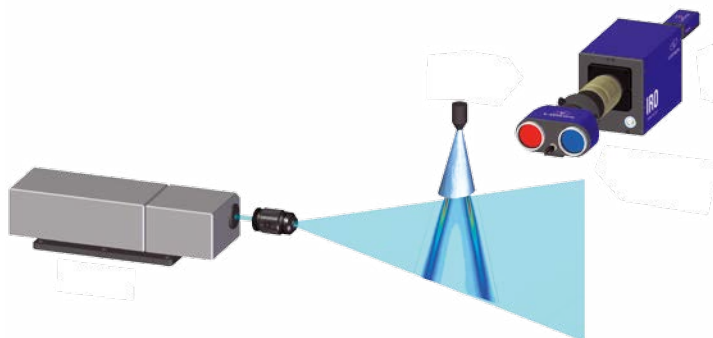


Standard circular fringe patterns



Compressed fringe patterns for denser sprays

SprayMaster D32



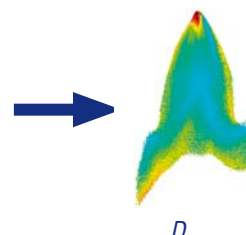
同时分别记录激光激发产生的LIF荧光信号（与液滴的体积成正比）和Mie米氏散射信号（与液滴的表面积成正比），并将荧光信号与米氏散射信号作比值，可得到基于LIF/Mie技术的瞬态全场液滴粒径分布。这种方法用单一激光脉冲便可得到沙德当量粒径 (SMD , D_{32})。



LIF = volume

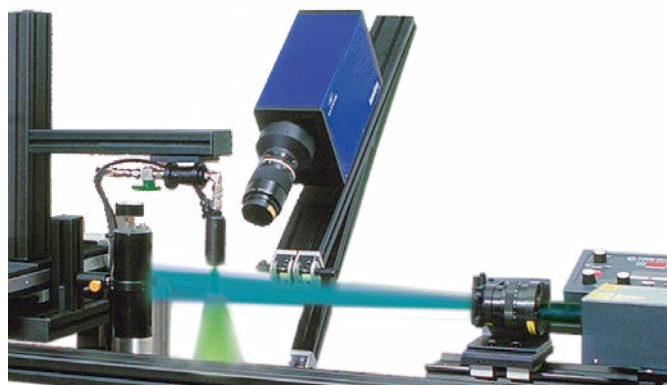


Mie = surface

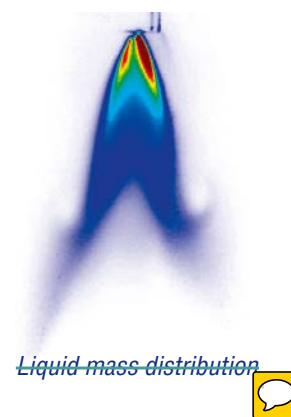


D_{32}

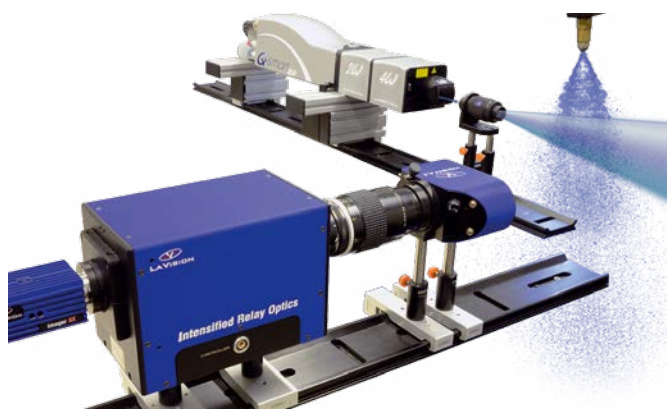
SprayMaster LIF



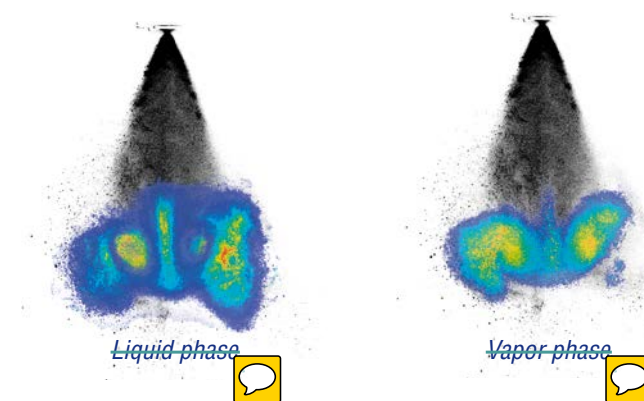
激光诱导荧光（LIF）信号强度正比于液滴的质量，因此，LIF信号和与液滴表面积成正比的Mie信号相比，能够得到不同的信息。结合PIV流场信息得到的质量流。



SprayMaster Exciplex



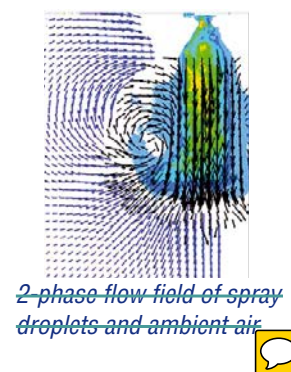
激光诱导激发态复合物荧光(LIEF)可以同时两种不同的物相（液相、汽相）进行可视化测量。需要添加专门的示踪物，基于光谱差异选择合适的滤光片将液相和汽相的信号分离开来。



FlowMaster



采用粒子图像测速技术（PIV）的速度场测量在流体力学中已经非常成熟，可用于喷雾液滴或周围空气场（额外添加示踪粒子）测量。**FlowMaster**系统中的双脉冲激光器是升级到其他多种测试技术的良好硬件基础。



Zhang et al, 2014,
Meas. Sci. Technol. 25 095204



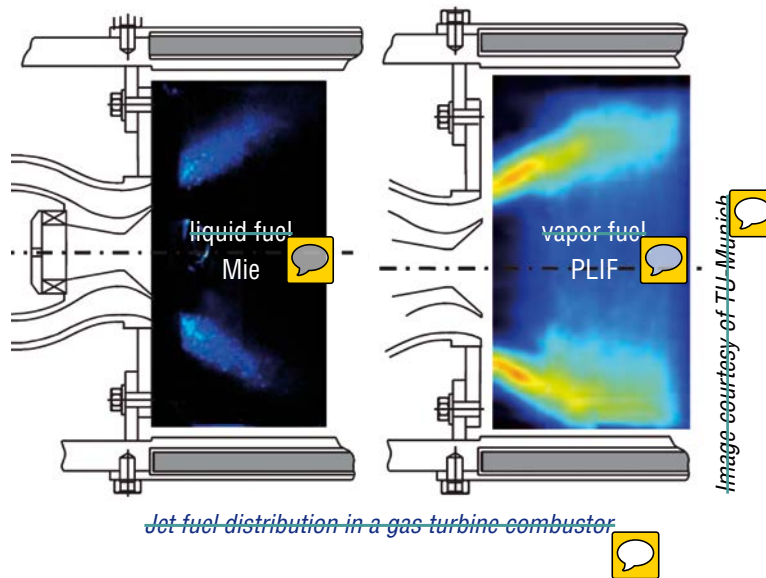
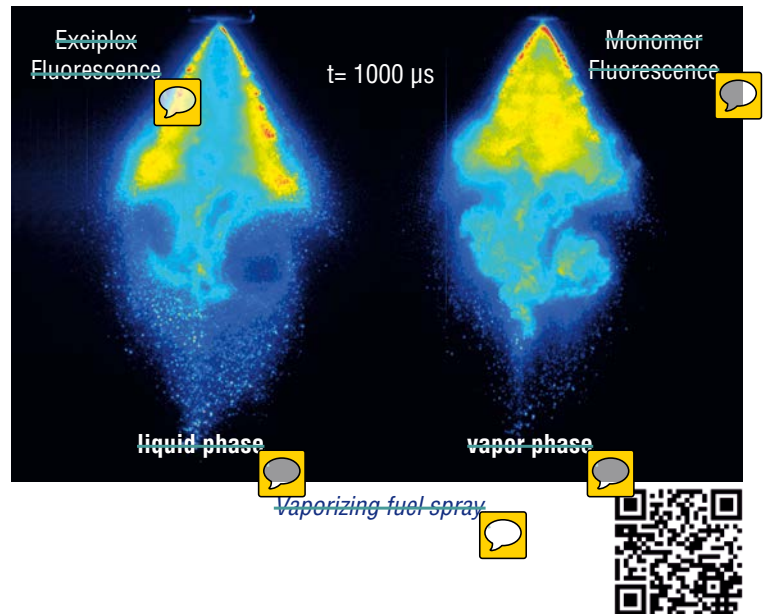
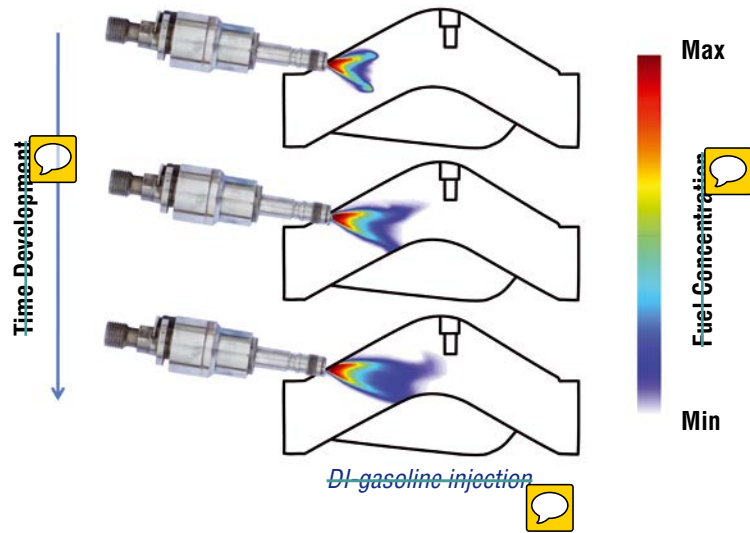
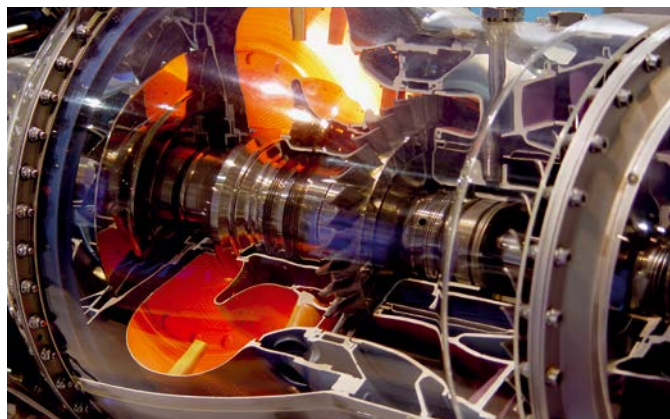
缸内喷雾成像

在内燃机和燃气轮机中，燃料喷雾在很大程度上决定了燃料和空气的混合过程，因此也决定了燃烧过程本身的质量（燃烧效率）。激光成像能够为燃料喷雾研究提供非常有价值的信息，如：燃料浓度分布、燃料汽化、空燃比等。



现如今，激光成像已成为高压测试腔或缸内燃烧室中，燃料喷射研究的标准、便捷、高效的测量工具。分别使用激光和相机内窥镜，可实现锁孔成像。

激光喷雾成像替代了之前的“尝试和试错”的方法为喷雾表征提供了有效的分析手段，并为CFD模型的有效性验证提供所需数据。



应用于致密喷雾成像的新技术

结构化激光照明平面成像 (SLIPI) 可降低在致密喷雾应用中多次散射光强度。SLIPI 基于用于 Mie 或 LIF 成像的空间调制激光片光。当多重散射光丧失了光强调制信，对于单次散射光，这一信息却被保留下来了。正确组合相移条纹状图像，所得到的

SLIPI 图像将显示出更高对比度和更清晰的，使用常规激光成像时被遮盖的喷雾内部结构。

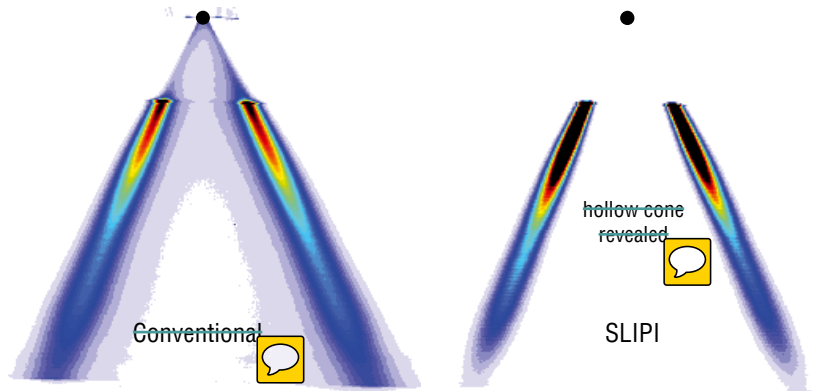
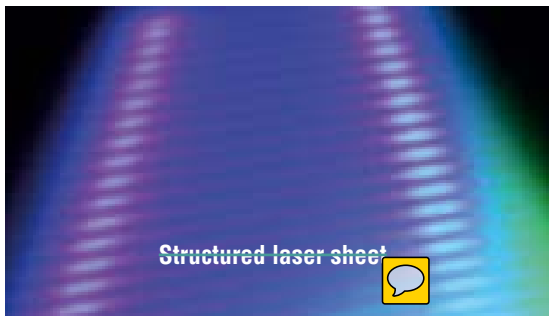
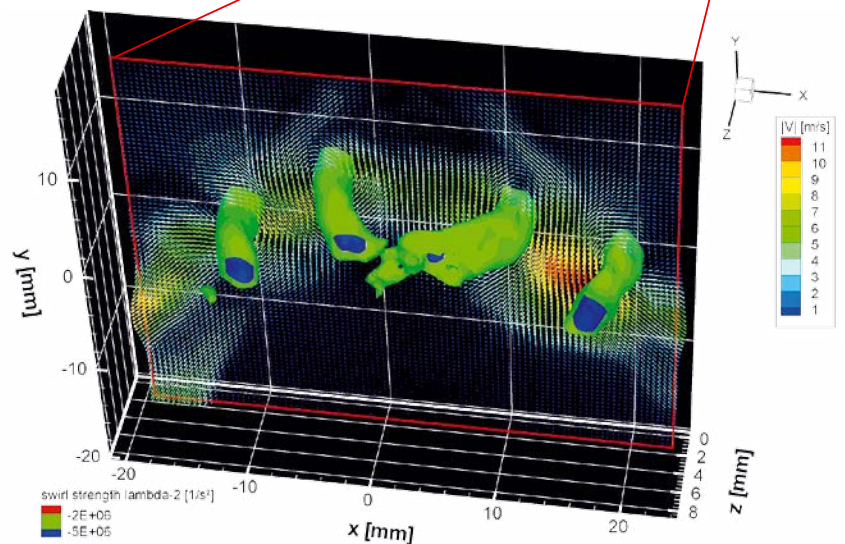
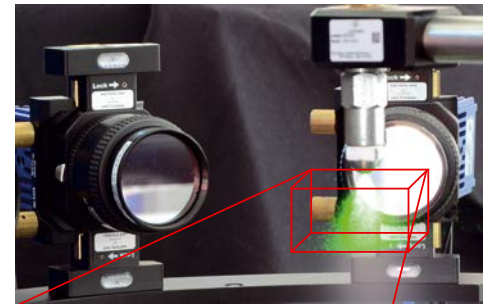


Image courtesy of E. Berrocal and E. Kristensson, Lund University

3维喷雾流场

大多数喷雾显示湍流液滴运动，因此，本质上是三维的 (3D)。然而二维激光片光成像无法分辨三维流动结构，层析重构技术使用相机拍摄的被照亮喷雾体的多幅图像，能够获得瞬态复杂喷雾的全部三维结构。

从这种时间相关的三维喷雾图像能够导出瞬态三维液滴流场和涡旋结构，进而能够得到详细的喷雾三维表征。





SprayMaster软件包

SprayMaster软件模块适用于喷雾成像的广泛应用，包括喷雾形态、喷雾羽的几何形态、平面液滴尺寸分布（全局粒径分布）、汽化等。

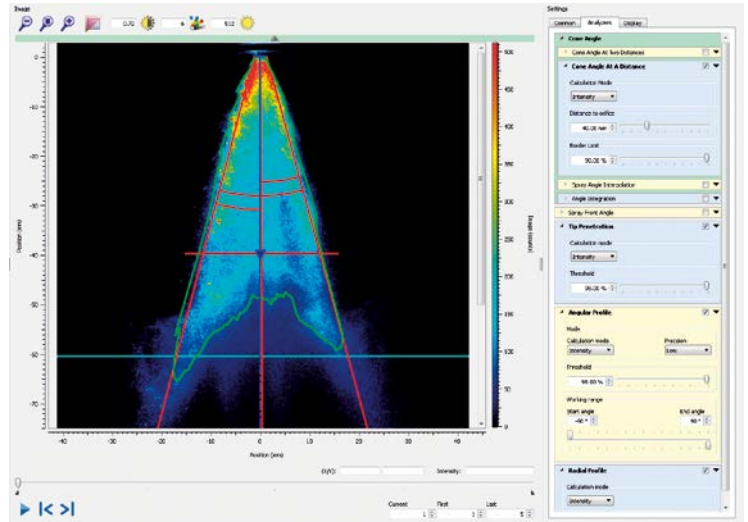
喷雾几何形态分析

喷雾几何形态分析是喷雾分析的基础软件模块，用光学测量方法取代了传统的图样采样法，采用阴影法和片光成像提取喷雾几何形态信息。

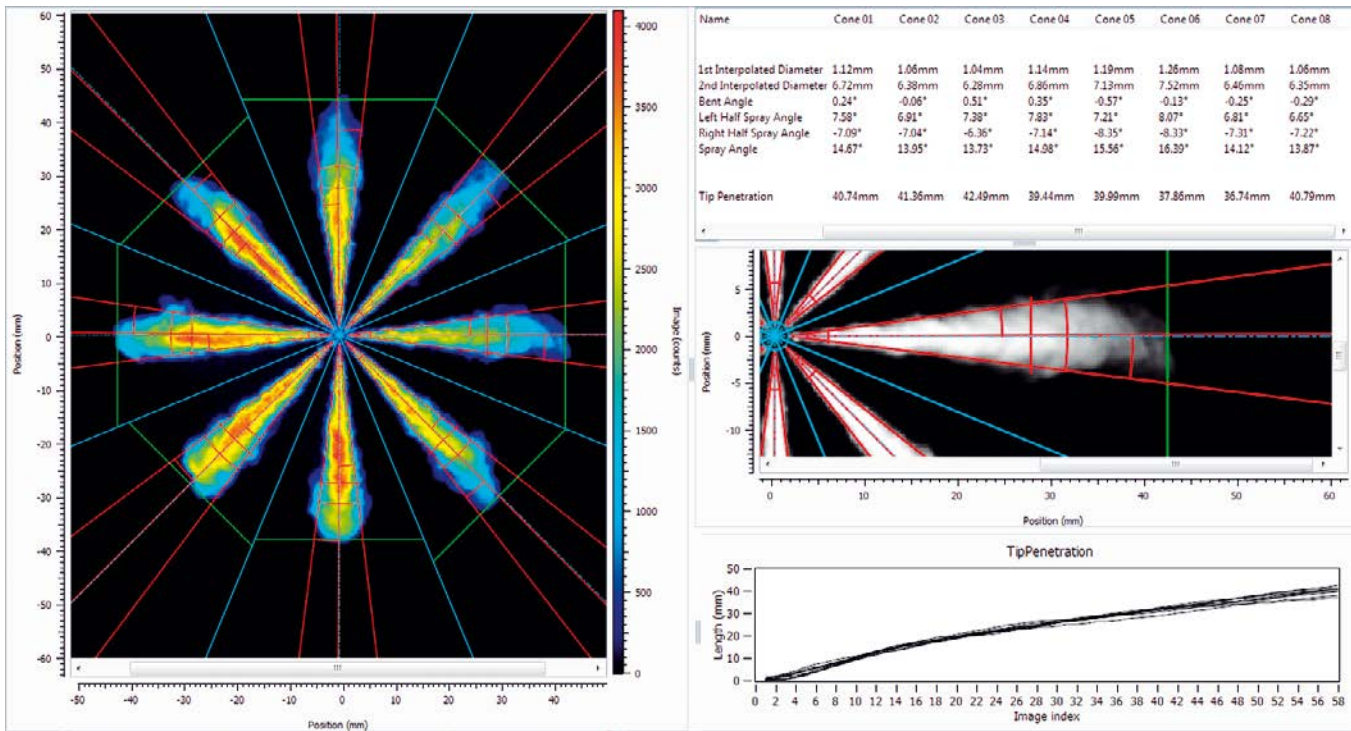
轴向和径向切面的测量数据：

在插值获得的喷雾边缘处或在固定距离处的喷射角度，弯曲角度，尖端跨越距离，前角，锥直径，锥对称性，重心位置，角度和径向分布的喷雾密度等。

分析显示多孔喷射装置（例如汽车燃料喷雾器）单个喷嘴喷雾锥体信息。



SprayMaster Geometry dialog



喷雾几何信息对话框

SprayMaster Geometry几何软件包能够按照操作员定义的方式显示处理结果。可根据用户需要在视图中定义多窗口显示。如果屏幕上需要更多空间，信息可以分布在多个选项卡上。集成屏幕截图和视频导出功能，能够以最少的用户信息交互而获取实验报告。

同步喷雾记录

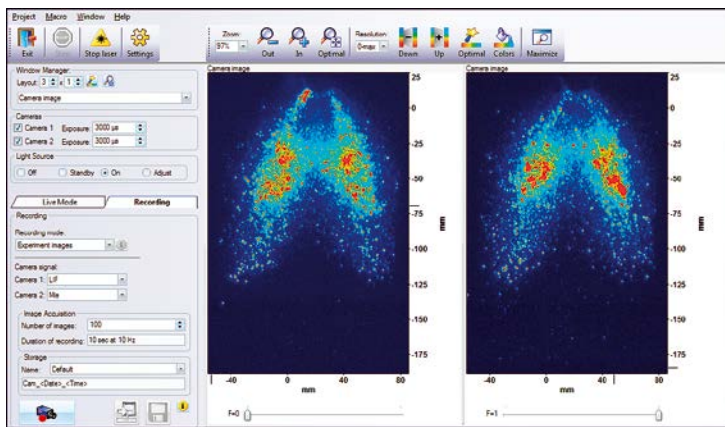
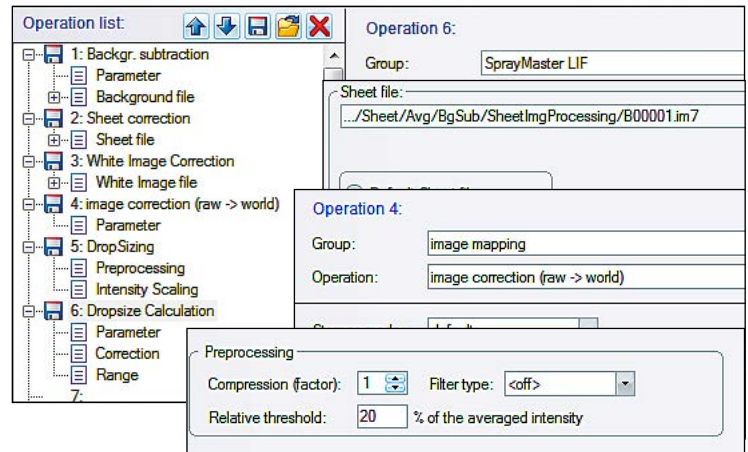
LaVision独特的可编程控制器PTU-X能够以灵活的触发方式和时序来触发控制高速和低速系统。扫描工作方式就是自动改变相对于喷雾喷注开始参考时间的测试时刻。PTU-X外触发方式有喷雾驱动器触发模式和光遮挡板触发，也可生成喷嘴启动喷注信号。可以产生通常用于现代汽车喷嘴的多重喷射，照明和相机系统均能自动控制与之同步运行。



SprayMaster LIF

SprayMaster LIF软件包括所有基于激光的图像的处理工具。其主要特点有：

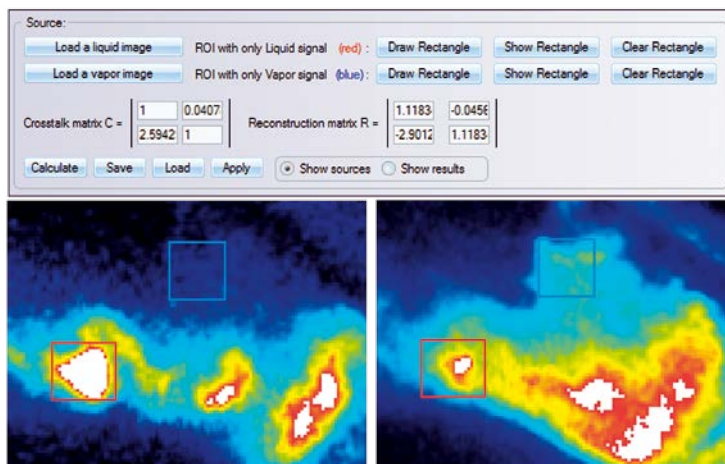
- ▶ 本底减除可消除杂散光
- ▶ 光片校正补偿激光片的不均匀性
- ▶ 白图像校正消除光学器件对图像亮度的影响
- ▶ 失真矫正和映射：所谓的去扭曲可消除源自光学器件的任何失真，对以倾斜角度记录的图像进行去偏移，并且可将多台相机拍摄的图像以亚像素精度对应映射到一起。



SprayMaster Exciplex

使用激发复合物示踪粒子通过平面激光成像获得气-液两相分离的可视化信息。SprayMaster Exciplex软件包提供所有的图像处理程序，使用户得到正确的气-液两相分离图像。

- ▶ 液体蒸汽分离的激发态复合物LIF图像
- ▶ 从重叠的LIF发射信号中清除图像串扰
- ▶ 液相/气相比值



SprayMaster D32

使用LIF和米氏散射比值法，从平面激光成像测量获取沙德平均直径（SMD, D32）的空间分布。SprayMaster D32软件包能够从一台或两台相机记录这些信息，并将图像匹配起来显示平面D₃₂分布。

- ▶ 利用LIF和Mie比值法来计算全局沙德平均直径分布
- ▶ 使用ParticleMaster系统添加绝对液滴尺寸校准标定

SprayMaster可定制软件

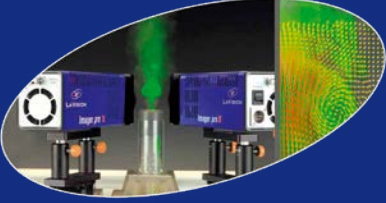
SprayMaster软件是构建高度优化的喷雾分析系统的理想平台可基于该系统现有技术和功能，结合您的需求为您量身定制一套独特专属的喷雾测量系统。它可以集成到现有的喷雾测试环境中，用于自动化批量测试。可在不同层次上定制SprayMaster喷雾测量系统：

- ▶ 优化用户软件界面
- ▶ 根据现有工作流程进行优化精简
- ▶ 自动存储结果数据，图像和报告
- ▶ 用于自动和无人值守操作的远程控制

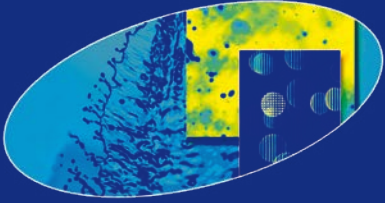

LaVision的定制SprayMaster系统可降低喷雾测试设施运行成本，并提高喷雾测量的客观性。其优势在于：

- ▶ 更大的测量体积
- ▶ 可靠可重复的测量结果
- ▶ 测试步骤的可溯源性

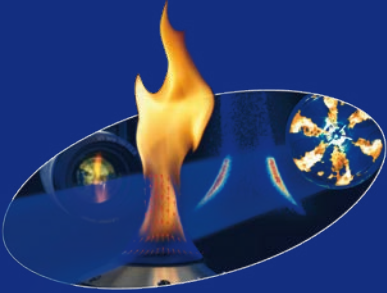

相关产品信息





FlowMaster
Advanced PIV / PTV Systems for
Quantitative Flow Field Analysis




ParticleMaster
Intelligent Imaging
for Particle & Droplet Sizing



Focus on Combustion
Optical Measurement Solutions



LaVision Automotive
Innovative Measurement Technologies



LaVision GmbH
Anna-Vandenhoeck-Ring 19
D-37081 Goettingen / Germany
E-Mail: info@lavisoin.com
www.lavisoin.com
Tel.: +49-(0)551-9004-0
Fax: +49-(0)551-9004-100

北京欧兰科技发展有限公司
北京市海淀区上地十街1号
辉煌国际中心1号楼1006室
电邮: info@oplanchina.com
www.oplanchina.com www.dpiv.cn
电话: +86-10-62623871, 62616041, 62621809
传真: +86-10-59713638

北京欧兰科技发展有限公司郑州办事处
郑州市二七区政通路66号
升龙国际B区5号楼一单元1910室
电邮: info@oplanchina.com
www.oplanchina.com www.dpiv.cn
电话: +86-371-86585661
传真: +86-10-80115555 (ext: 556992)

0715/0217