

FlowMaster

先进的PIV/PTV系统
用于流场显示和定量分析



LA VISION

WE COUNT ON PHOTONS



FlowMaster

具有独特测量能力的
集成的即开即用系统

LaVision的
锐意创新历程

LaVision公司凭借多年积累的丰富经验并与行业内尖端科研用户紧密合作，设计研制出灵活、高性能PIV系统的知名品牌**FlowMaster**。

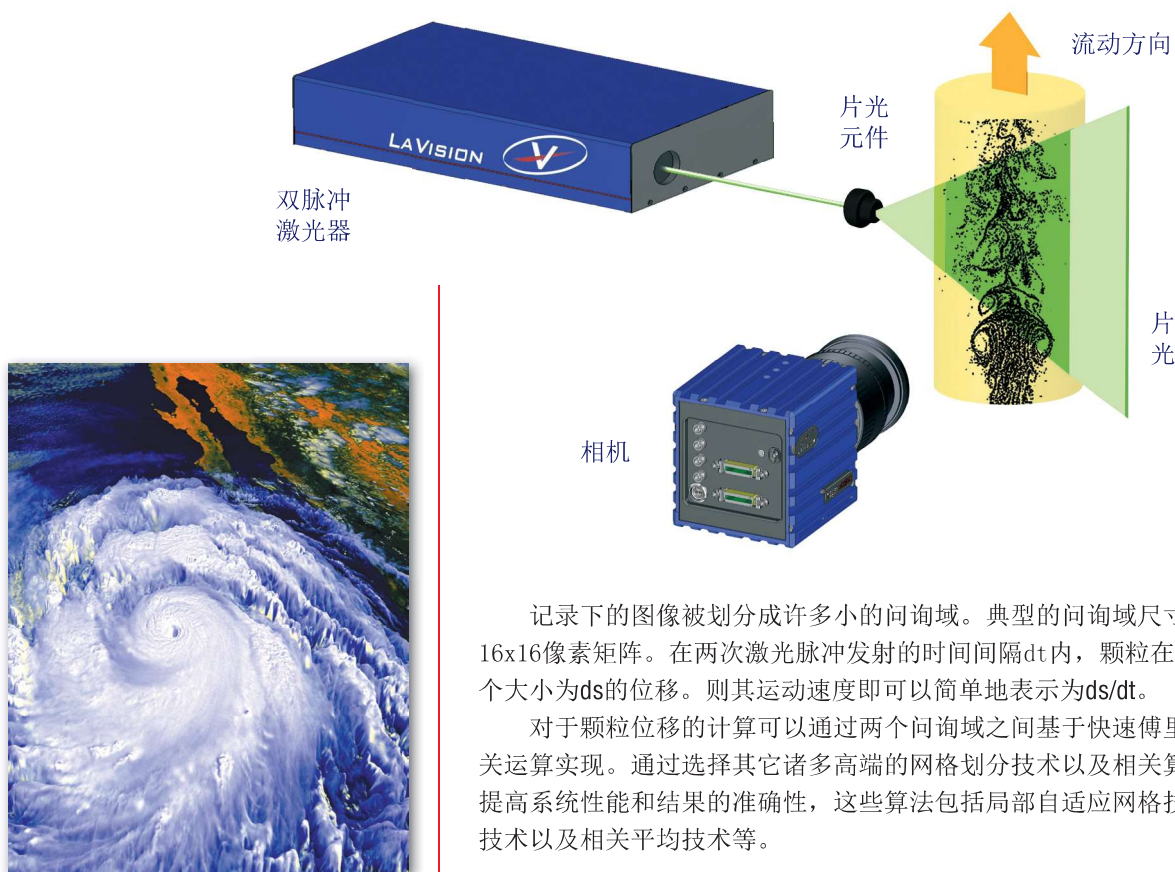
LaVision公司不断推出性能优异，引领行业发展的先进PIV算法和数据有效性检验法则。例如采用变形网格窗口技术进行相关运算，以及采用独特的局部中值滤波技术进行数据有效性判断的算法等。

- 1997:** ▶ 推出业内首套商品化高灵敏度12位**PIV** CCD相机系统
- 1998:** ▶ 在Lisbon会议上介绍3D立体**PIV**技术
同时两相流场的测量分析
- 1999:** ▶ 开发了新的**3D-PTV**技术
集成了高分辨率**2K X 2K PIV**相机
- 2000:** ▶ 时间分辨**PIV**系统，可以在时间及空间域对流体动力学结构
进行耦合效应分析
▶ 内窥式**PIV**系统
▶ 基于分子示踪方法的流动标识技术
- 2001:** ▶ 微米级分辨率的显微**PIV**系统
▶ 基于立体**PIV**系统的双平面**PIV**系统，用于进行三维涡量及加速度
场的测量
- 2001-
2005:** ▶ 连续三次（2001年，2003年，2005年）参加**PIV challenge**—世界范
围**PIV/PTV**软件算法评测活动并取得巨大成功
- 2004:** ▶ 立体**PIV**自标定技术，该技术可以自动准确修正标定结果，即使标定靶
和激光片光之间的位置差异很大的情况也可以完成这样的修正
- 2005:** ▶ **FlowMaster MITAS**系统：该系统提供了倒置显微镜及三维电动位移平
台，并提供所有硬件的计算机控制
- 2006:** ▶ 体视三维层析**PIV(Tomo-PIV)**系统，即Tomographic PIV：一种全新
的瞬时三维速度场测量技术
- 2009:** ▶ 首次演示4台1千6百万像素相机构成测量大体积流场的层析**PIV**系统
- 2010:** ▶ 首次推出自适应**PIV**系统，进一步提高了**PIV**分析的精度和分辨率
▶ 用GPU(图形处理单元)进行**PIV**分析
▶ 首次采用最新一代**sCMOS**相机构建立体视层析-**PIV**系统
- 2011:** ▶ 8台相机构成的层析-**PIV**系统，开创风洞中体视流场测量分辨率
的新记录
▶ 交付全球首套水下体视层析**PIV**系统

先进的**PIV/PTV**系统
基于米氏散射和**LIF**技术

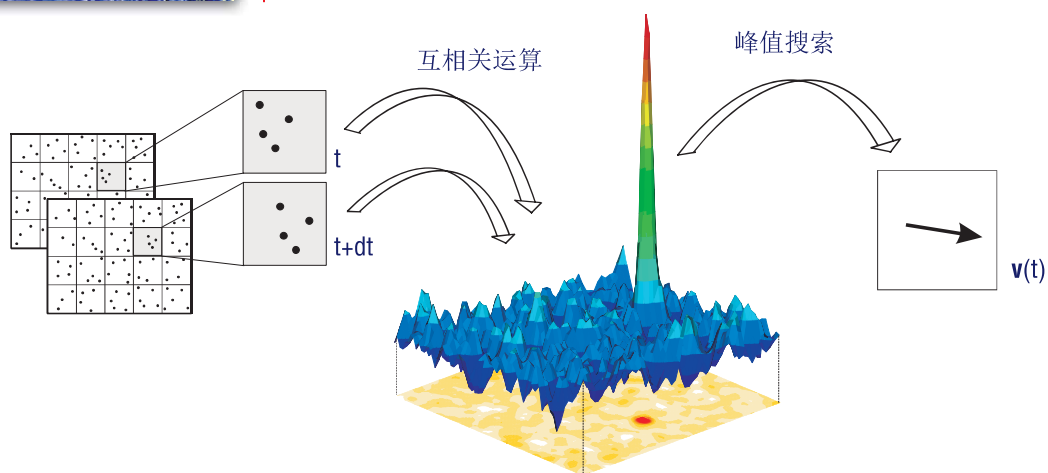
FlowMaster是为研究燃烧、喷射流动以及各种水力学和空气动力学领域内测量对象而设计的，激光片光照明成像系统大家族中的一员。用途广泛的**FlowMaster**系统型号架构应用为导向。模块化的、灵活的系统设计，可满足丰富的测量需求。

FlowMaster系统基于粒子图像测速(PIV)原理，可以测量瞬时二维或三维流场速度分布。测量时须将微小的示踪颗粒注入待测流体之中。这些颗粒可以跟随流体运动。通常要将激光束整形为片光，以很短的脉冲间隔 dt 照亮待测流场区域两次。两次照射时刻的粒子图像分别被跨帧高分辨率CCD相机记录下来。



记录下的图像被划分成许多小的询问域。典型的询问域尺寸为 64×64 至 16×16 像素矩阵。在两次激光脉冲发射的时间间隔 dt 内，颗粒在询问域中会有一个大小为 ds 的位移。则其运动速度即可以简单地表示为 ds/dt 。

对于颗粒位移的计算可以通过两个询问域之间基于快速傅里叶变换的互相关运算实现。通过选择其它诸多高端的网格划分技术以及相关算法可以进一步提高系统性能和结果的准确性，这些算法包括局部自适应网格技术、变形网格技术以及相关平均技术等。



互相关PIV的工作原理

相关函数中的峰值点代表了该询问域内颗粒的平均位移。所有询问域的位移矢量最后组成了一个完整的瞬时速度分布图。



创新的PIV/ PTV 流场分析算法



LaVision公司与很多PIV技术的研究组织密切合作，可以提供给用户最先进、最前沿的流场分析算法。软件完全开放。通过内嵌的CL宏汇编语言(完全的C语言语法格式)，用户可以进行进一步的功能添加或修改。很多用户已经使用此功能大大丰富了软件的应用范围。

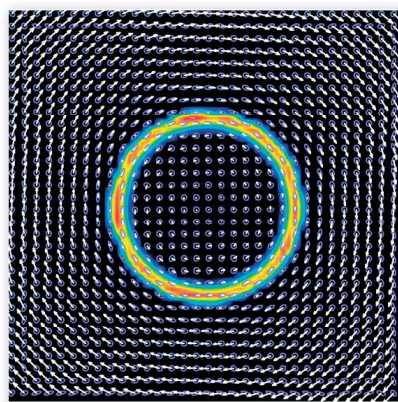
用来分析PIV测量结果的流场分析算法集成在可视化软件包**DAVIS**环境下。

DAVIS是LaVision公司成像装置系统特有的图形用户界面。它的模块化结构易于集成使用新的算法，方便用户编写自己的宏代码。

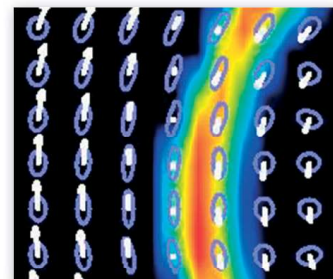
2D-PIV软件可以对激光片光照明内的流场进行二维向量计算处理。可提供2D-PTV算法。立体PIV 2D3C 软件模块可以对所有三个方向的矢量进行运算和处理，包括片光平面内的以及垂直于片光方向的分量。

LaVision最新推出的自适应PIV技术可根据流动梯度（流动自适应）和粒子图像质量（信号自适应）信息自动计算优化设置局域询问窗口的尺寸和形状。这种新技术显著地改善了PIV分析的精度和空间分辨率，尤其对于流动梯度较大，例如接近壁面的场合。

优化记录参数

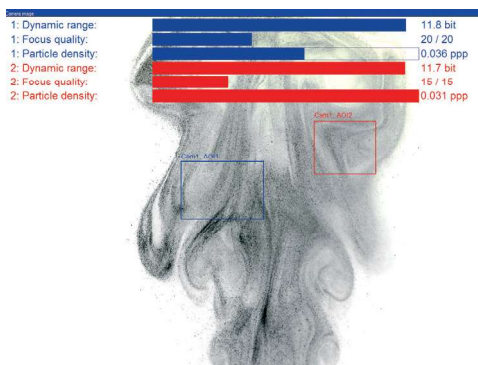


强剪切旋转流



自适应椭圆询问窗口

调整助手向导



DAVIS 调整助手向导运行电脑截图

PIV测量分析的质量受许多操作细节影响，例如对焦质量和图像对比度等。这些性能参数多半比较难于准确判断，尤其对于那些缺乏经验的初学者。**DAVIS**中的“调试助手向导”功能，可以在进行图像拍摄的同时，实时在线地给出这些参数的定量反馈信息。利用这些信息可以方便地进行设置优化。这一功能不仅对于初级使用者是一个高效得力的助手，对于那些经验丰富的专家也很有价值。因为它可以加速工作流程，降低系统设置调试时间。对于像风洞或拖曳水池这样运行费用高昂的场合，这种向导可以大大地节省运行费用。用户将受益匪浅。



FlowMaster PIV 软件包为二维及三维粒子图像的高精度处理提供了很多特殊的功能函数。LaVision公司的软件工程师和遍及世界各地的用户，利用CL宏语言正不断地将新的函数加入其中，使其不断发展。这些用户添加的新函数可以自由传播交换，并可由用户自己方便地集成到DAVIS软件中。

标定

- ▶ 用双平面标定板和单幅图像进行标定
- ▶ 对较强的畸变也可进行补偿校正
- ▶ 在软件向导指引下完成自标定
- ▶ 可采用3阶多项式或针孔相机模型进行拟合

图像预处理

- ▶ 定义任意形状处理区域，基于用户定义的，或者根据系统自动生成判断定义的高通滤波器，通用的 $n \times n$ 滤波器
- ▶ 根据流动结构的差异分离两相流动
- ▶ 剔除不需要的图像信息(例如壁面散射光信号)

PIV算法

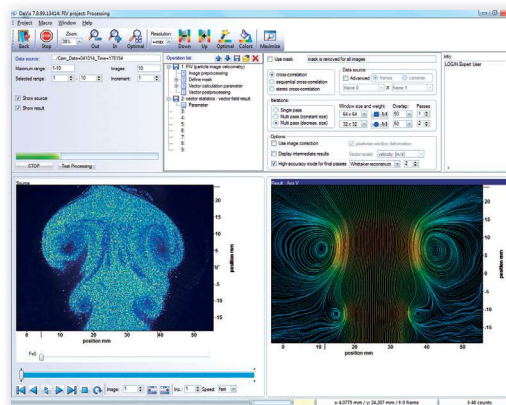
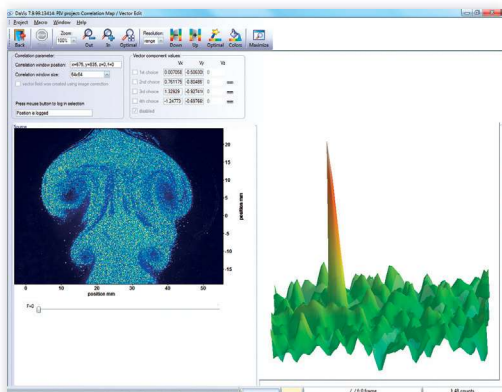
- ▶ 多种自相关及互相关函数：标准 FFT 归一化自相关函数
- ▶ 用于低粒子浓度的二维及三维颗粒跟踪的先进算法
- ▶ n 幅图像各自相关函数相加求得速度矢量的算法（‘系综相关’）
- ▶ 自适应多重迭代可变形询问窗口算法(达到最高的分辨率和稳定性)

向量后处理和有效性检验

- ▶ 高精度，亚像素拟合，消除了峰值锁定(peak locking)效应
- ▶ 动态可变形询问窗口相关分析
- ▶ 相关峰值高度比滤波器
- ▶ 局部及区域的中值滤波，第二选择矢量替代
- ▶ 全场向量幅值滤波
- ▶ 时间和（或）空间平顺与插值

矢量场处理

- ▶ 标量场：旋度，散度，应力
- ▶ 统计量：平均，均方根，概率密度函数，分散图
- ▶ 等高线：流线，迹线
- ▶ 涡流分析：中心，强度和速度
- ▶ 空间相关及时空相关
- ▶ 用户自定义运算操作
- ▶ 本征正交分解（POD）



DAVIS-PIV算法的图形用户接口



在空气动力学和流体力学中的广泛应用



高度模块化立体3D水下PIV系统

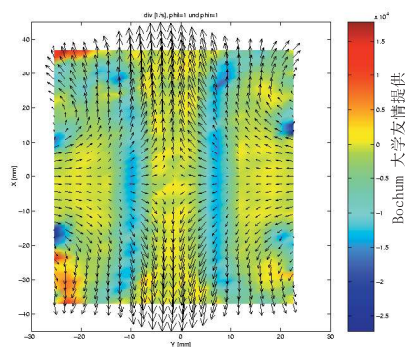
汉诺威 Franziskus 学院友情提供

空气动力学与水动力学

- ▶ 利用立体成像功能获得三维速度场
- ▶ 支持多相机同时拍摄
- ▶ 自标定程序
- ▶ 通过有效的杂光抑制提高表面附近的流场测量分析性能
- ▶ 高时间分辨及高空间分辨率PIV
- ▶ 模块化，潜入式水下PIV系统 (2D-, 立体-PIV, 层析-PIV)

内燃机流场

- ▶ 气缸内流场的锁相式测量
- ▶ 输出轴编码信号
- ▶ 使用内窥镜方式，激光片光源和相机可以通过8mm的光学通道小孔照明气缸内部并对内部流场成像



两束相对流动的平面火焰的流场

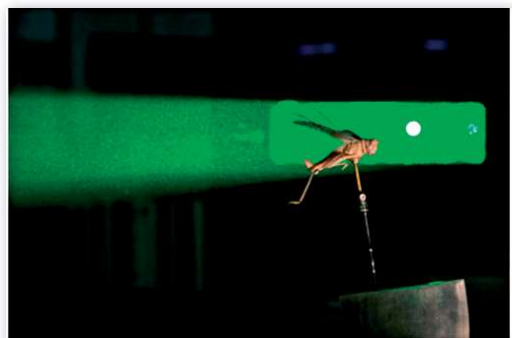
Bochum 大学友情提供

反应流场

- ▶ 与温度场关联测量
- ▶ 使用耐高温的TiO₂颗粒
- ▶ 分子示踪探测

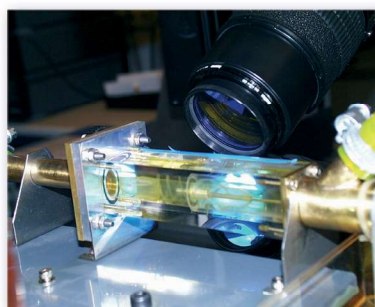
生物/医学中的应用

- ▶ 动静脉血管中血液流场的监测
- ▶ 微流动图像系统用于监测并改善心脏瓣膜周围血液流动特性
- ▶ 以前所未有的空间分辨率对昆虫后方滑流产生的湍流进行三维成像测量研究



用层析-PIV检验蝗虫的飞行特性

牛津大学动物飞行研究组Bomphrey/Henningsson友情提供



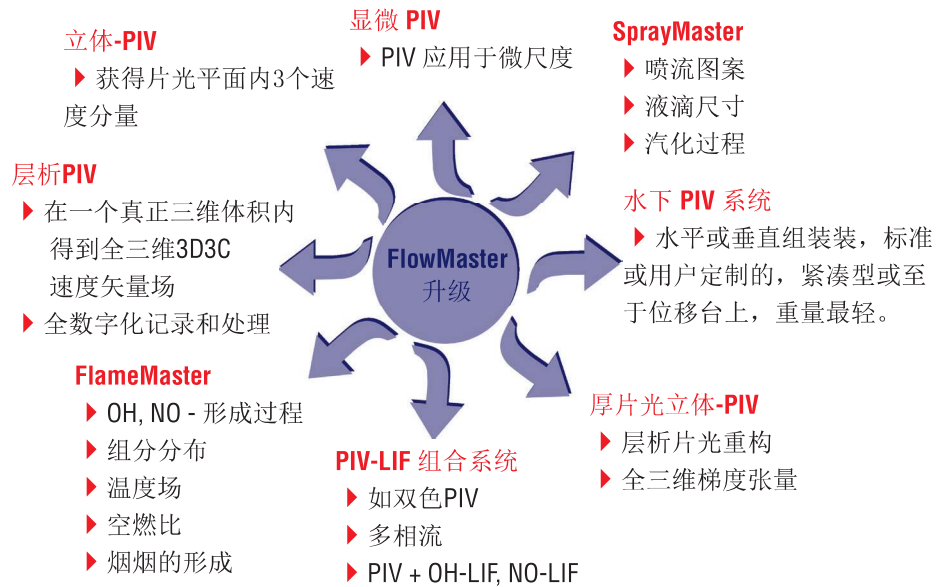
可植入式血泵模型流动的立体PIV测量

柏林 Heart AG 公司友情提供



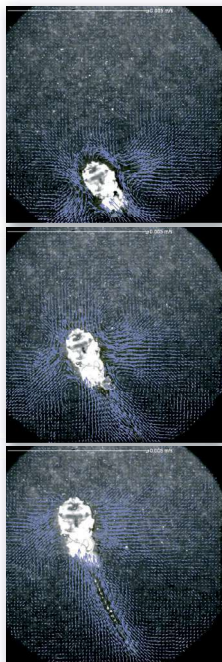
DNW (德荷风洞) 友情提供

FlowMaster 基本的二维 PIV 系统可以很方便地升级来处理更加复杂的流场问题，对于更加复杂细致的流场分析可以利用立体PIV或者全视场层析PIV系统来完成。**FlowMaster**还可以升级到PIV-LIF系统，例如LaVision提供的**SprayMaster**和**FlameMaster**系统。对于这种用途**FlowMaster**系统中的相机还可以专门配置像增强器。



不同的升级方式可得到不同的系统功能，并都能够集成到DaVis软件环境中。

FlowMaster 时间分辨PIV



1kHz帧频记录的100 μm运动浮游生物诱发的流动

FlowMaster时间分辨PIV系统为流体动力学分析提供了新的研究手段。它同时提供了基于数字PIV的空间流场信息和每一点随时间的演化信息。系统可以测量速度及加速度场，以及湍流过程的脉动参量。相比常规PIV系统，高时间分辨PIV提供了随时间演化的速度场及其相关信息，并且可以通过计算获得随时间变化的湍流信息等：

- ▶ 基于时间域的本征正交分解 POD 模式分解
- ▶ 漩涡结构特性随时间变化规律
- ▶ 时空相关
- ▶ 流动结构跟踪
- ▶ 能量谱
- ▶ 加速度场
- ▶ 流动的时间尺度

LaVision提供的**FlowMaster**时间分辨PIV系统包含根据尖端技术设计的全数字化高速相机，像素可达1, 2, 4百万。满帧拍摄帧率在最高可达16kHz，降低图像分辨率拍摄帧率可以达到几百kHz。系统同时可以提供高重复频率单腔或双腔固体激光器，脉冲能量可选择范围宽。所有硬件部件都可以由**DAVIS**软件包集成和控制。独特的相关算法（‘金字塔相关’）充分利用了系统提供的时间演变信息。



FlowMaster

立体-PIV

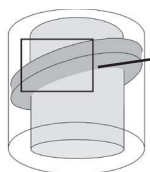
遥控调整
Scheimpflug角度、
光圈及焦距

立体成像



手动Scheimpflug角调整装置

自标定



测量区域

优势特色

FlowMaster 3D直接由**FlowMaster 2D**的概念发展过来，可以测量在激光片光面内全部三个速度分量。

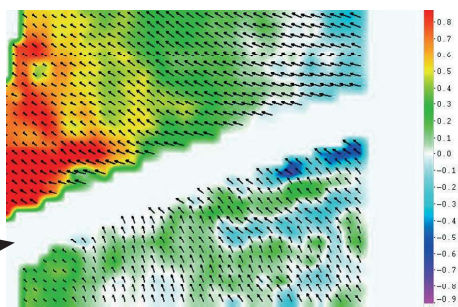
立体维PIV基于立体成像原理：

两个相机从不同的角度拍摄被照亮的跟随流动的颗粒，Scheimpflug镜头布置可以使两个相机都获得聚焦成像。用一台相机，我们只能测量垂直于其光轴方向粒子位移的投影，把两个相机拍摄到的投影图像合并起来，就能够再现被测流体中粒子的真实位移。用这样的方法，我们就可以得到包含所有三个速度分量的完整向量。这种系统模仿了人眼立体视觉原理。



FlowMaster Scheimpflug装置

自标定技术是在立体PIV系统中应用的独特的专利技术，它可以修正标定靶和片光源之间的偏离，即使这个偏离很大也可以得到修正。在**DAVIS**立体PIV软件包中它已经成为标准功能。利用自标定技术，通过计算粒子图像的偏移映射(地图)函数，所有测量面的位置以及片光厚度都可以获得。另外，偏移向量可以进一步修正非初始体映射函数引起的某些光学畸变。采用自标定技术，标定靶盘甚至无需放入被测流场中。在很多内流模型中，例如生物医学研究的流



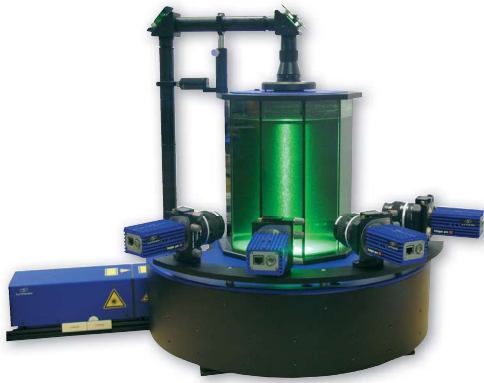
单矢量场 (颜色= w-分量)

动、微管道流动或者内燃机气缸内部流动等，根本无法放置标定靶的情况，利用自标定技术就可以完成其中的三维流场的测量。为此，自标定技术成为这些测量任务的必备功能。

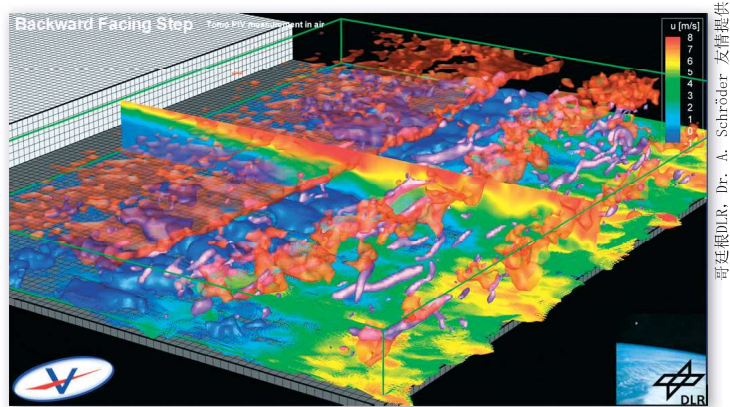
- ▶ 极高精度：消除可能的标定误差
- ▶ 友好的用户界面：任意放置标定靶盘，无需使标定靶盘严格对准激光片光源
- ▶ 简便的体积扫描测量方式：所有扫描面的位置即刻获得标定结果
- ▶ 离线标定：标定板可安放在测量体之外
- ▶ 节省时间：标定准备过程可以离开测量现场进行

FlowMaster 层析-PIV

完整空间体积内的瞬时
3D3C-速度场测量



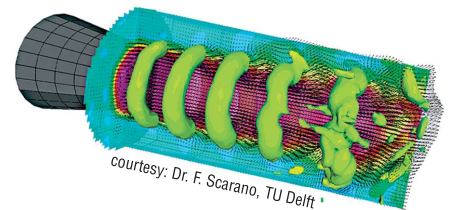
层析PIV(Tomo-PIV)是一种全新的三维速度场测量技术。颗粒的速度信息由顺序两次曝光时刻重构出来的粒子三维图像的互相关处理得到。通过全数字化过程,该技术可以在颗粒浓度相对很高的情况下获得高分辨率速度场。3D粒子跟踪测速则仅能适用于颗粒浓度较低的情况(从而得到的速度矢量场的空间分辨率也很低)。与扫描式平面PIV不同的是,这种方法可获得完整空间体积内的瞬时结果。层析-PIV非常适合需要双曝光间隔 Δt 很小的高速流动对象。采用高帧频相机可以方便地将系统拓展至具有高时间分辨测量能力。



后向台阶尾部流场的层析PIV测量 (等涡面)

应用

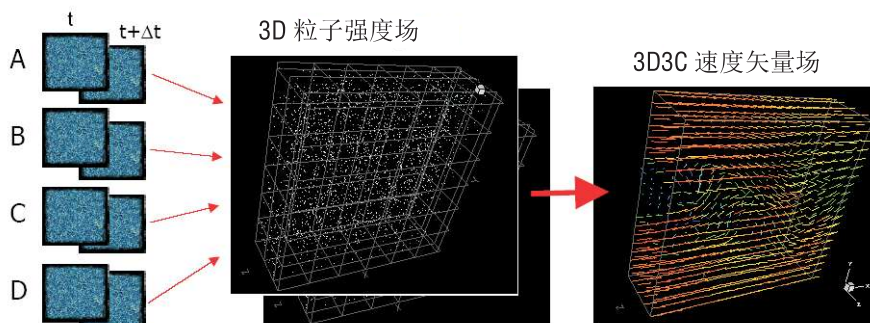
- ▶ 湍流研究
- ▶ 三维流体结构的可视化
- ▶ 完整的三维涡流分析
- ▶ 流体结构的相互作用



环形喷嘴的层流喷流,
 $Re_0 = 5,000$

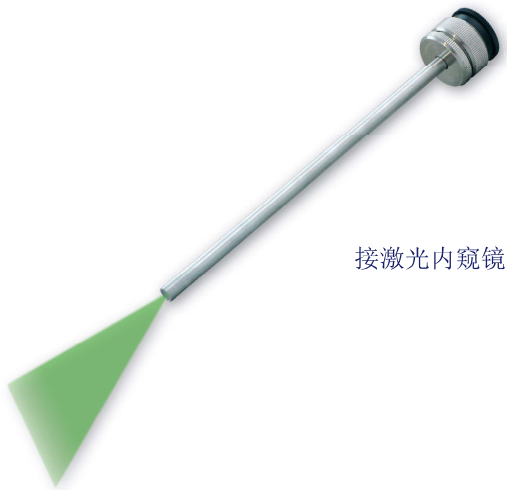
层析PIV (Tomographic PIV)原理

在测量体内的示踪颗粒由高能量的脉冲激光光源照亮,其散射光由4个不同方向拍摄的CCD相机记录下来。然后由三维空间中每一点光强的分布,利用层析重构算法(MART)对三维空间颗粒的分布进行重构。给定的三维诊断区域中颗粒的位移则通过双曝光形成的两个重构颗粒图像进行三维互相关获得,其中利用了变形立体询问窗的多重网格迭代算法。LaVision专利的体积自标定程序可以自动校正标定过程引入的误差。使得TomoPIV的重构过程的质量进一步提高。



FlowMaster 内窥式PIV

用于光学通路受限应用场合的相机和激光内窥镜



接激光内窥镜



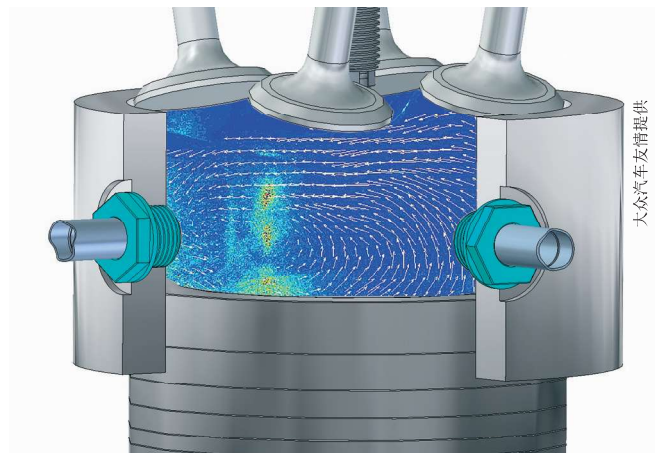
camera 内窥镜

LaVision的激光内窥镜将高能量脉冲激光点光源变为片光源，它被设计安装在激光导光臂(多关节光臂)的出口，在末端由一根细钢管完成壁面的内嵌。图像的采集由经过特殊设计的相机内窥镜完成，这种内窥镜可以非常方便地取代镜头安装在**FlowMaster**系列的相机上。

应用

- ▶ 封闭区域内流场中的空气动力学现象研究
- ▶ 涡轮机、飞行器引擎、压缩机、水泵的研究
- ▶ 内燃机中的流动、滚转和涡流研究
- ▶ 反应流场、工业反应器及燃烧研究
- ▶ 制药及医学应用研究

内燃机流动曲轴角同步测量研究



应用内窥成像技术测量瞬态缸内滚流

FlowMaster 显微-PIV

FlowMaster显微PIV系统利用PIV技术，设计用于以微米尺度空间分辨率测量注入了示踪颗粒的流体的速度场。



立体显微PIV装置

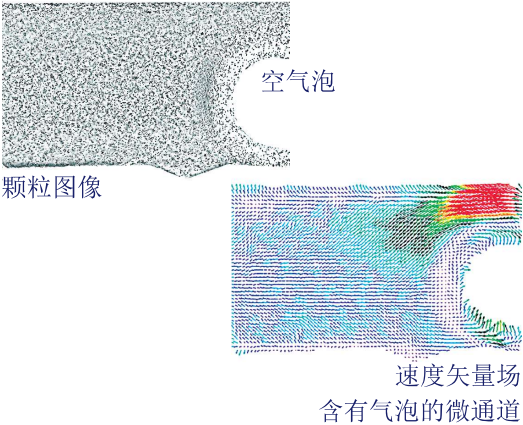
系统采用双脉冲Nd:YAG激光作为光源，通过一个大数值孔径光圈的落谢荧光显微镜聚焦到微流动模型上。微流动采用荧光颗粒作为示踪物，通过显微镜采集到的颗粒散射光的波长比入射光波长要长。由于波长不同，该光波信号通过一块滤波片与入射光分离开，并由FlowMaster系列相机拍摄下来。由双曝光产生的颗粒图像，经过通用的PIV算法处理后可以获得速度场结果。

常规PIV应用于微尺度系统

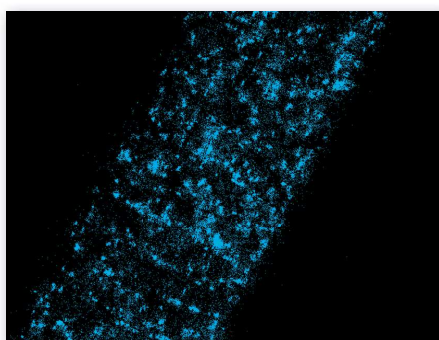
FlowMaster MITAS

FlowMaster MITAS激光图像系统由一个三轴驱动显微位移平台构成，该平台拥有一个高性能的控制器并且装备了一个精度很高的显微物镜。在标准的应用中使用了一个小型的二极管泵浦固体激光器 DPSS 作为脉冲光源以及通用跨帧多曝光 CCD相机。内置了同步控制单元的系统计算机负责控制整个激光图像系统。

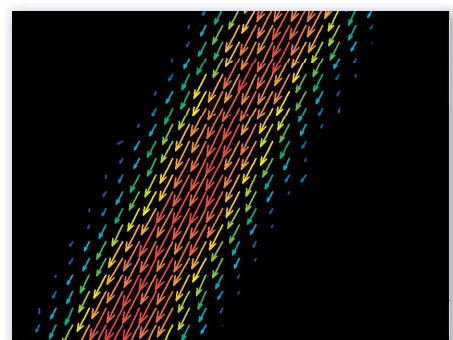
FlowMaster MITAS的xyz(调焦)三坐标位移台可以用一个游戏杆进行手动操作，也可以通过DAVIS软件中的控制管理器进行操作。管理器中有一个包含许多位置信息的列表，每一个位置信息都可以被添加、编辑和删除。方便的可重复定位的特性保证了系统在每次操作以后，比如更换透镜以后都可以定位到原来的操作位置。激光通过一根光纤传导到显微位移平台上。一个内置的导航发光二极管用以帮助进行目标聚焦调节。其中的光波滤波模块盒可以随时更换以实现不同入射和散射波长的光信号分离。



速度矢量场
含有气泡的微通道



200 μm通道粒子图像



对应的速度矢量场

FlowMaster 系统组件

根据应用需求, LaVisin的FlowMaser系统可以集成多家公司的激光光源和相机:

标准PIV相机	型号	特色性能	高速 PIV 相机	型号	特色性能
	Imager sCMOS	极高灵敏度, 高动态范围, 高帧频三者兼备		Imager pro HS 4M	4百万像素, 最佳的成像质量, 最快的数据传输
	Imager SX 4M	紧凑型4百万像素 30Hz重复频率			
	Imager pro SX 5M	紧凑型, 5百万像素, 高分辨率		HSS 3G HSS 4G HSS 5.1 HSS 7 HSS 8 HSS X	1百万像素CMOS相机, kHz重复频率, 高灵敏度
	Imager pro LX 16M	分辨率最高的CCD相机			
	Imager pro X 2M Imager pro X 4M Imager pro X 11M	PIV中使用最广泛的相机家族			

成像光学元件

- ▶ 用于倾斜拍摄的Scheimpflug镜头安装支架 (可选遥控功能)
- ▶ 体照明光学组件
- ▶ 长工作距离显微镜
- ▶ 用于显微PIV的落谢荧光显微镜

滤光片

- ▶ 窄带宽, 有效抑制背景光

光束导引

- ▶ 激光光导臂
- ▶ 多用途高功率激光反射镜
- ▶ 激光内窥镜

片光成型元件

- ▶ 焦距和发散角可调
- ▶ 大范围角度设置

同步触发

- ▶ 用于所有工作模式的同步控制
- ▶ 灵活可编程基于PC的时间同步控制单元PTU
- ▶ 32路触发输出通道
- ▶ 外触发待命模式
- ▶ 锁相测量

处理器

- ▶ 并行处理 (多处理器计算机)
- ▶ 多计算机装置 (主/从构架)
- ▶ Windows 7 64 位操作系统

激光器

- ▶ 不同供应商提供的双脉冲Nd:YAG激光器系统
- ▶ 输出能量覆盖范围很宽

北京欧兰科技

1006室/ 辉煌国际中心1号楼
上地十街/ 海淀区/ 北京/ 中国
E-MAIL: OPLAN@263.NET

WWW.OPLANCHINA.COM

PHONE: +86-(0)-10-62623871

FAX: +86-(0)-10-59713638

LA VISION GMBH

ANNA-VANDENHOECK-RING 19
D-37081 GOETTINGEN / GERMANY
E-MAIL: INFO@LAVISION.COM

WWW.LAVISION.COM

TEL.: +49-(0)5 51-9004-0

FAX: +49-(0)551-9004-100

LA VISION INC.

211 W. MICHIGAN AVE. / SUITE 100
YPSILANTI, MI 48197 / USA
E-MAIL: SALES@LAVISIONINC.COM

WWW.LAVISION.COM

PHONE: (734) 485-0913

FAX: (240) 465-4306