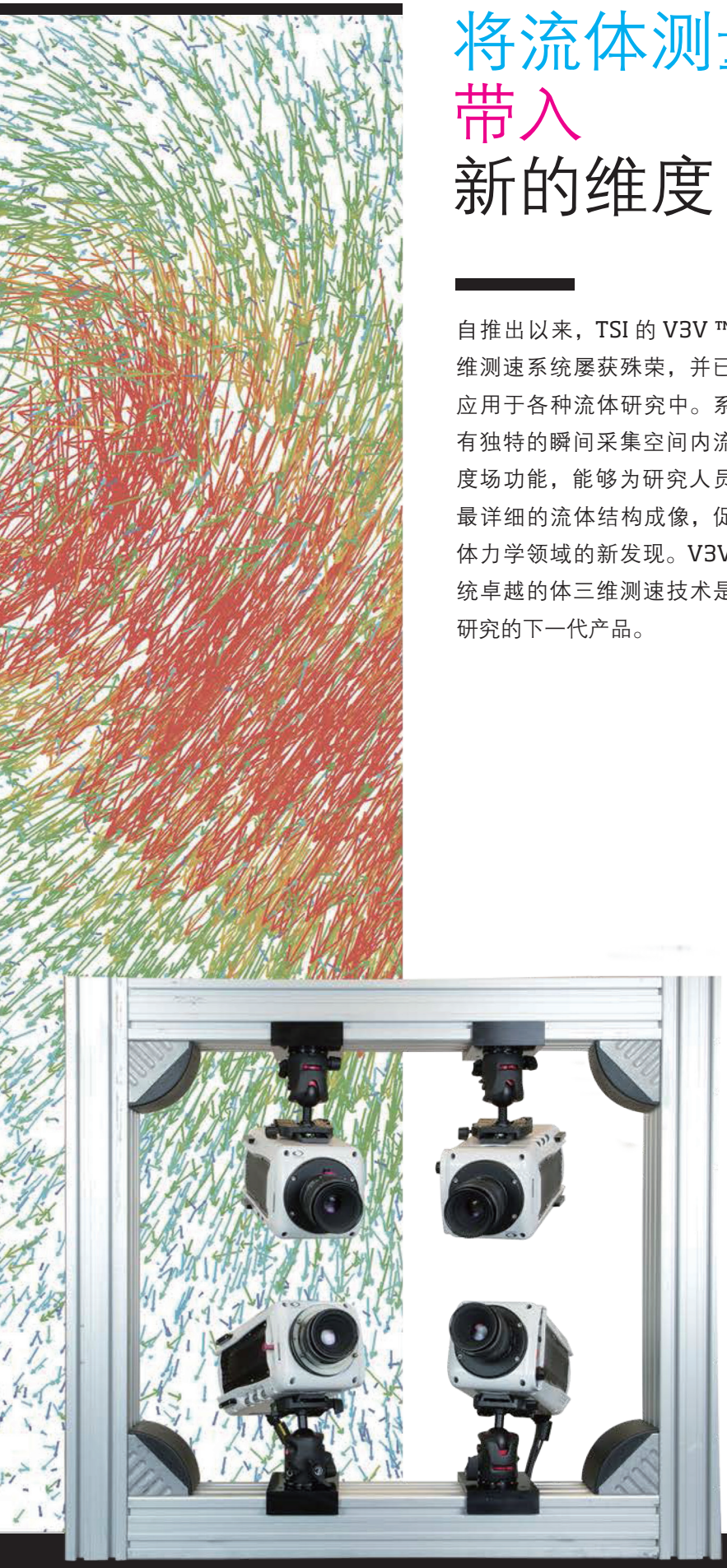
瞬时的真实的
多功能的
体三维测速系统

V3V™ 系统

UNDERSTANDING, ACCELERATED

将流体测量带入新的维度

自推出以来，TSI 的 V3V ™体三维测速系统屡获殊荣，并已广泛应用于各种流体研究中。系统具有独特的瞬间采集空间内流体速度场功能，能够为研究人员提供最详细的流体结构成像，促进流体力学领域的新发现。V3V ™系统卓越的体三维测速技术是流体研究的下一代产品。



设计特点

+ 灵活的摄像头配置，支持定位于任意方向多个摄像头 (2-8)，以获得最佳观察效果。
+ 集成框架式设计
+ 即使是测量瞬时流体，也能以全画幅帧率连续采集数据，能够测量流场统计数据和更高阶数据分析。
+ 专利的粒子识别技术可以微米级精度精确地识别粒子在体三维立体空间中的位置。
+ 最高分辨率的 3D3C 粒子跟踪测速技术。
+ 支持高分辨率和高速摄像头进行采集，频率从 10Hz 到 50kHz 的时间分辨测量。

应用广泛

+ 流体动力学
+ 空气动力学
+ 环境
+ 基础流动研究
+ 生物共生

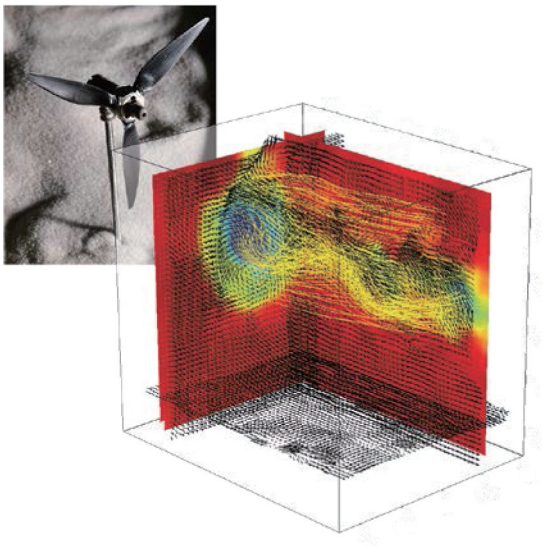
环境研究

最近，环境科学家使用 TSI V3V ™系统的体三维测速技术取得许多突破性进展。V3V ™系统对多种流体行为的即时定量可视化测量，使研究人员能够改进风力涡轮机的设计，更好地了解污染运输，改善环境和人民的生活。

风力涡轮机气流分布的影响

“我们目前正在进行水轮机实验，旨在更好地了解实验室水槽中单个和单组水轮机尾迹内湍流的三维结构。V3V ™系统是本研究的关键组成部分。它展现了许多与水平轴涡轮后流体结构相关的问题，并且它描述（3D）流体的功能帮助我们开发新的参数体系。”

Leonardo Chamorro,
美国明尼苏达大学
圣安东尼瀑布实验室



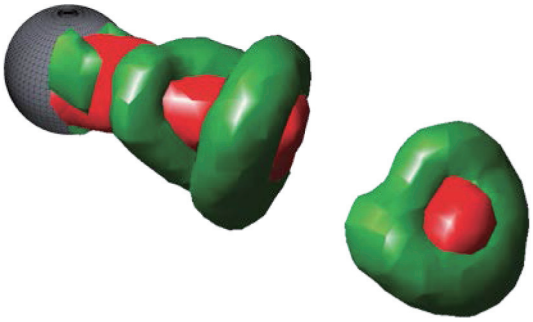
显示了水轮机下游的尾迹。从左到右流动。切片表示流速，红色表示高速，蓝色表示低速。

城市区域污染运输

“随着全球气候保护政策向更加生态友好的方向转移，近年来，在准确理解和澄清城市环境中污染运输的方法方面有了更大的推动。V3V ™用于测试模拟大气边界层内的表面安装障碍物的流场。体三维速度数据在这些现象此前的平面二维数据的基础上有很大的扩展。”

Dr. Wing Lai,
TSI Incorporated

参考：TSI 应用说明 V3V-006，球体尾迹。



球下游的旋涡脱落 (Re=2500)。从左到右流动。绿色等值面代表涡量大小，红色等值面代表运动较慢的流体。

通过真正的
立体三维测量
为设计提供数据支持

流体力学

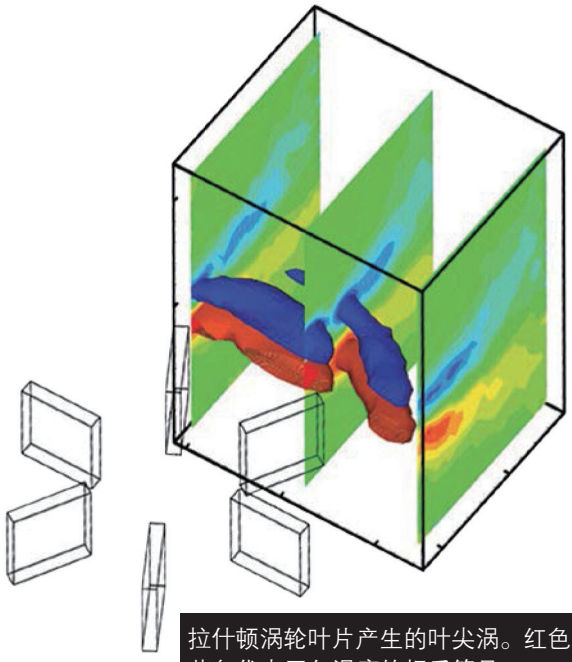
在设计船舶、螺旋桨以及混合装置时，流体动力学研究中的体三维数据至关重要。然而，采集这样的数据一直是一个难题。现在，由于 V3V ™系统的独特能力，很容易实现整个流场结构的体三维成像。因此，在更全面的流体动力学研究的基础上，对许多产品的设计进行了优化。

搅拌涡轮混合的流场特性

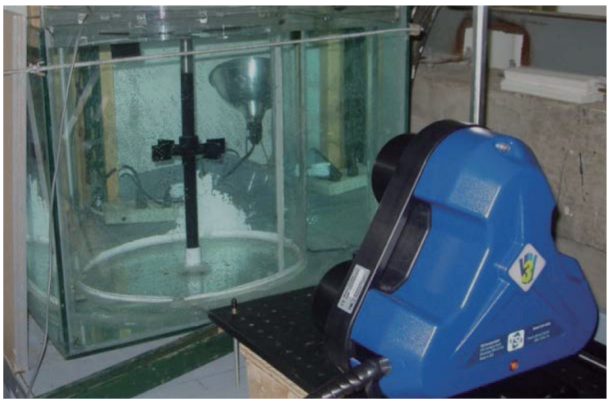
“在搅拌槽反应器中，对 Rushton 涡轮附近的流场进行了体三维流场测量。这种特殊的流场具有高度的非定常性和三维性，具有强的径向射流、大的尺度环形涡流和小尺度的叶尖涡流的特点。数据的体三维特性使桨叶尖端涡流识别、涡流轨迹分析和涡流强度计算成为可能。”

Kendra Sharp 教授
美国俄勒冈州立大学
机械、工业和制造工程

参考文献：Sharp K.、Hill D.、Troolin D.、Walters G. 和 Lai W.（2009），“Volumetric 3-component velocimetry measurements of the turbulent flow around a Rushton tuibine”，Experiments in Fluids，48（1），pp.167-183.



拉什顿涡轮叶片产生的叶尖涡。红色和蓝色代表周向涡度的相反符号。



显示 V3V ™系统摄像机和 Rushton 涡轮搅拌的实验装置。

螺旋桨特性

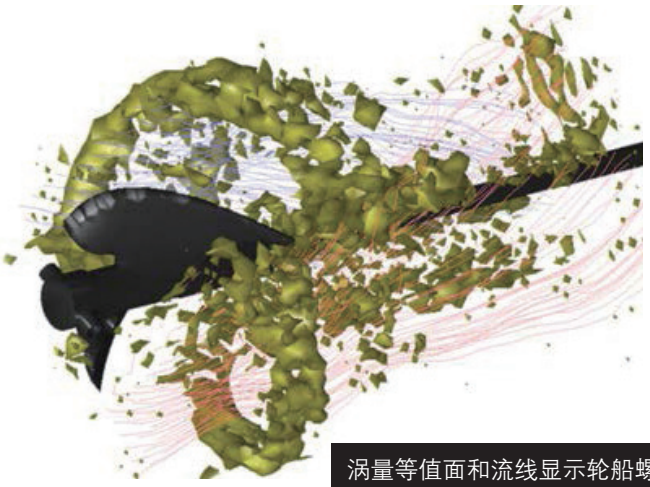
“体三维流场测量提供了对流体流动结构的全面了解，是流体力学研究中期待已久的能力。多年来，人们一直在尝试开发一种适用于此类测量的技术。基于我与 V3V ™系统的交互，这一功能最终得以实现。测量范围在 140 mm × 140 mm × 100 mm 之间是非常重要的，它代表了体三维测速的主要进展。事实上，在任何科学测量中，类似于使用 V3V ™系统已完成的测量体积域的大小，很少会出现超过一个数量级的能力飞跃。”

Leonardo Chamorro,
美国明尼苏达大学
圣安东尼瀑布实验室

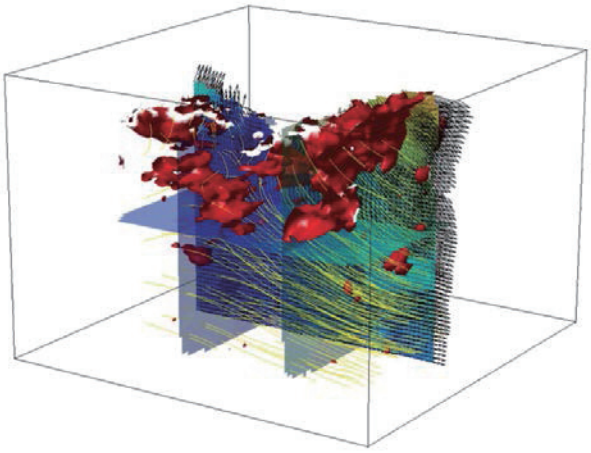
波浪形成研究

“使用 V3V ™系统的 3d3c 测量能力将会增强我们对于在水槽设施中关于波浪形成方面的相关研究。该系统已经证明了获得理想结果的能力，这对我们在许多液压设施设计中的研究至关重要。”

浙江研究员，
中国水力学与
河口研究所



涡量等值面和流线显示轮船螺旋桨模型的尾流场



涡量等值面和流线直观的显示出波浪表面处空气和水交界面处的流场形态。

洞察和预测
翼型和钝体的
流场特性

空气动力学

几十年来，研究人员在许多不同的条件下对不同设计的翼型和钝体进行了测试，但由于气流分离和尾流是体三维流场，现有的测量技术不是很适用。

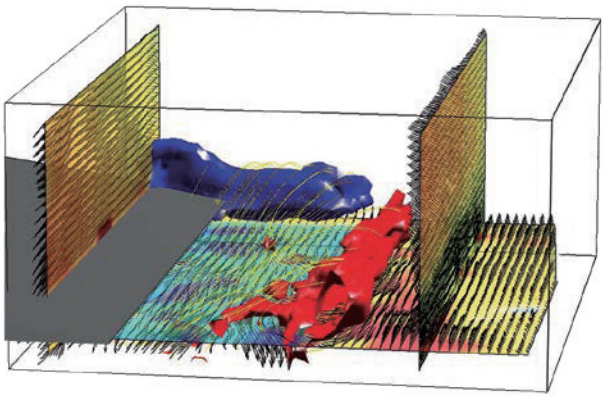
V3V ™系统的 3D3C 测量能力最终为研究人员提供了复杂空气动力学研究所需的真正的体三维流场测试结果。

活动翼型 – 翼尖涡和气流分离的研究

“在这种情况下，机翼的吸入侧会出现中弦和稳定的层流分离气泡（LSB）。与以往采用粒子图像测速技术（PIV）进行的研究一样，本文主要研究气泡的非定常三维拓扑结构。因此，采用了时间分辨三分量立体三维测速技术（V3V ™系统），该技术能够在立体空间内瞬间捕捉真实的体三维速度分布。”

Christian Kähler 教授，
德国慕尼黑大学联邦国防军流体力学和空气动力学研究所

参考文献：Wolf E.、Kaehler C.、Troolin D.、Kykal C. 和 Lai W.（2009 年），“使用 TSI V3V 测量系统在牵引罐中进行时间分辨体积分离测量”，第 8 届粒子图像测速国际研讨会，澳大利亚维多利亚州墨尔本，2009 年 8 月 25-28 日。



启动涡流（红色）和尖涡（蓝色）由初始翼型产生（灰色）。

翼板扰流装置的增升实验

“翼型后缘上的轮床襟翼导致升力增加，中等尺寸襟翼的阻力可忽略不计（约为翼型弦长的2%）。体三维速度场数据对于理解翼板扰流装置增加升力对翼展方向速度的影响和后缘处涡结构的产生和传递，以及相关的流场结果。

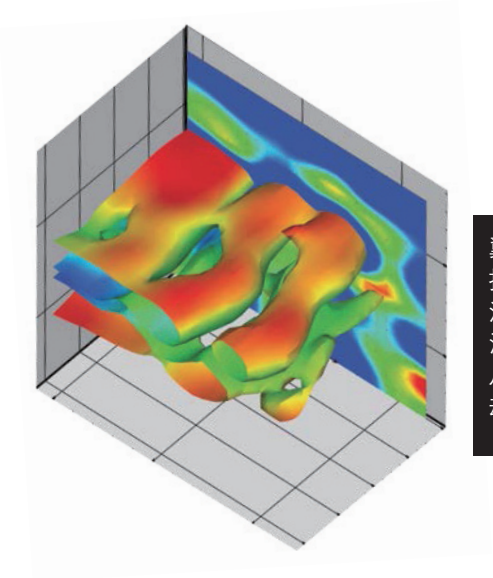
Dan Troolin, 博士
航空航天部
工程和力学，
美国明尼苏达大学

汽车设计的空气动力学

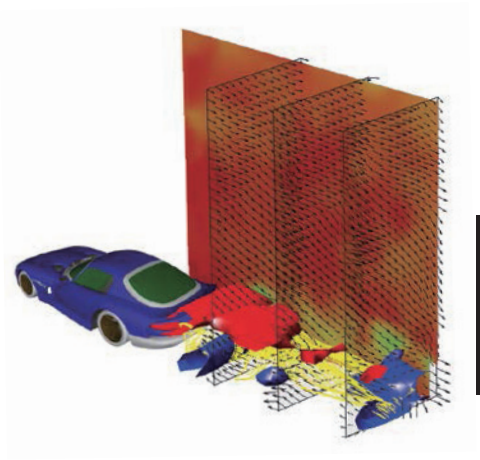
“汽车产生的尾流是高度立体三维的，并且由于存在后视镜和轮罩等诱导阻力的结构而较为复杂。体三维测速系统可以深入了解湍流尾迹以及由此产生的阻力之间的关系，这对于开发更高效的车辆至关重要。”

Mike Khoo 博士，
TSI 新加坡

参考：TSI 应用说明 V3V-007，汽车尾流。



翼型下翼板扰流装置尾流的速度等涡面，流场从左到右流动。

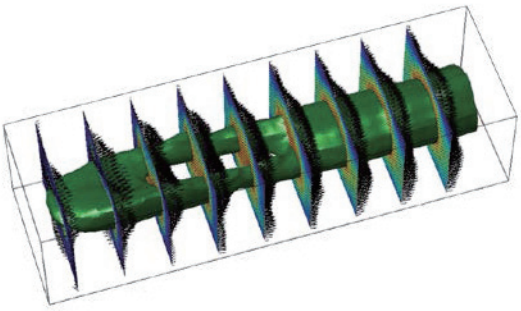


汽车模型后尾流。红色和蓝色表示展向处方向相反的涡量

以可靠和可重复的测量结果扩展应用范围

生物医学

使用 V3V ™系统对心脏瓣膜和其他医疗设备进行的生物医学研究提供了详细的体三维流动结构，包括阀门后面相对于其开度的不同相位位置的涡度和速度等值面。TSI V3V ™系统生成的完整图形数据使研究人员能够测试这些复杂的仿生机械的设计，识别缺陷，并增强许多关键仪器的性能。



从左到右在人工机械心脏瓣膜的下游流动。绿色等值面表示速度大小。

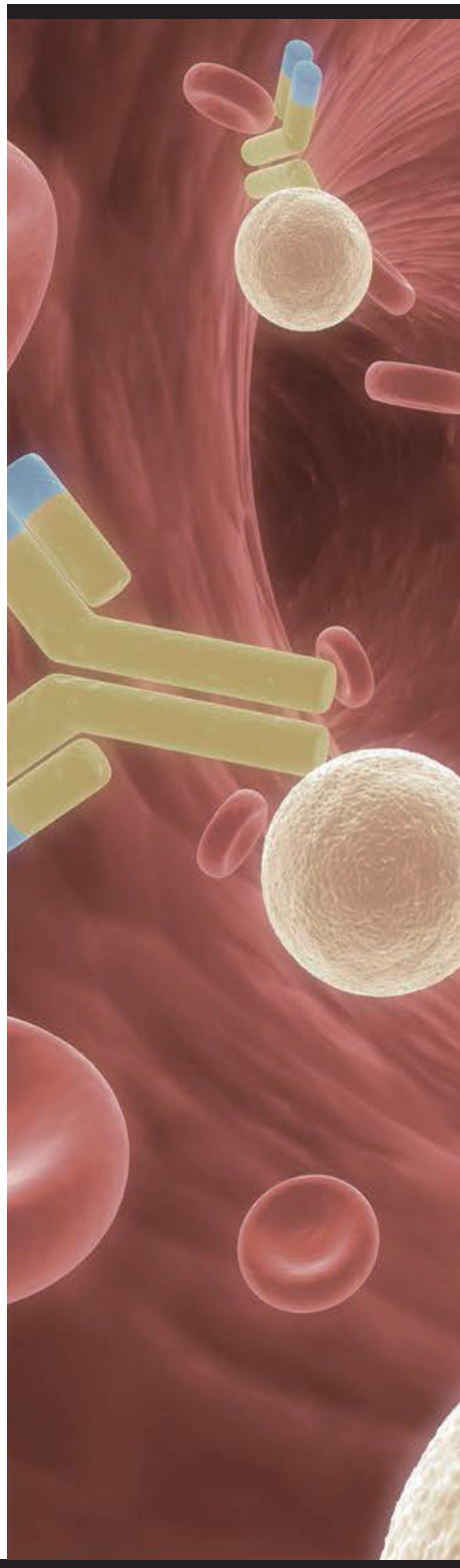
显示人造可变形硅聚合物心脏瓣膜关闭阶段流向的流线。

机械心脏瓣膜研究

“生物流动在空间上可能是复杂的，具有三维特征，例如通过人工心脏瓣膜的流动。这些三维流动可能影响血液及其成分的运输。V3V ™系统用于完全重建圣犹德医疗机械双瓣阀周围的瞬时三维流场。结果证实了用常规平面 PIV 在稳定流下获得的公开测量结果。用 V3V ™系统重建了整个正常心脏循环中透明硅聚合物瓣膜的时间演变的三维流动。这些瞬时的体三维流场测量可用于优化人工心脏瓣膜和其他生物假体装置的设计。”

DeVesh Amatya, 博士
美国明尼苏达大学
生物医学工程系

参考文献：Troolin D.、Amatya D. 和 Longmire E.（2009），“人工心脏瓣膜下游 3D3C 速度测量”，第 8 届粒子图像测速国际研讨会，墨尔本，维多利亚，澳大利亚，2009 年 8 月 25-28 日。



基础流体研究

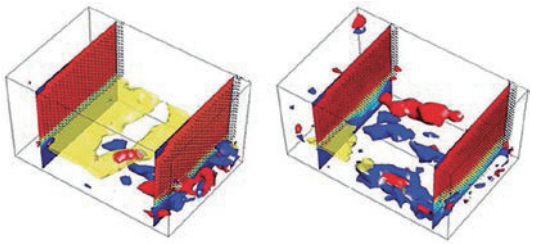
V3V ™系统已被证明对湍流、流动分离、边界层和尾流的基本流体研究至关重要，因为它能够采集真实立体空间内的三维流动结构。完整的体三维定量流场使研究人员能够全面探索新的信息，并进一步验证现有模型。任何外部效应，例如墙的存在，都与主要的流场一起捕捉，这区别于传统的测试方法。

后台阶下游的水流

“由于分离流在各种工程应用中的普遍性，例如在土木工程、大坝或桥梁桩柱下游的流动中，分离流在流体力学领域尤其重要。使用涡流发生器来增加分离边界层内的流向涡度，增加表面附近的流体动量，以及延迟分离，正越来越频繁地被使用。V3V ™系统可以对涡量场进行彻底的研究，决定涡流发生器的有效性。”

École Supérieure de Physique
et de Chimie Industrielles,
法国巴黎

参考资料：TSI 应用说明 V3V-005，带涡流发生器的平滑轮廓坡道。



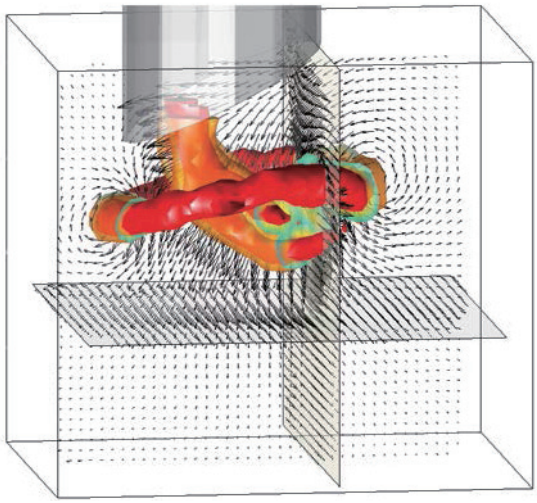
后向台阶处的等涡面。

倾斜出口处的涡环

“脉冲产生的涡环出现在许多环境、生物和工业应用中。对轴对称边界条件下产生的涡环的流动进行了广泛的研究，得到了一个以恒定速度向下游传播的标准主涡环和一个与活塞停止有关的相反迹象的延迟尾环。相比之下，倾斜的出口产生一组更复杂的涡流。使用 V3V ™我们能够解释由两个尾随涡环结构组成的整个时间分辨三维流体结构，这些涡环结构最初具有相反迹象的循环，在穿过主环中心时相互缠绕和扭曲。”

Ellen K. Longmire 教授，
美国明尼苏达大学
航空航天工程与机械系

参考文献：Troolin D.；Longmire E.（2009），“倾斜出口涡流环的体积速度测量”，《流体实验》，48（3），第409-420 页。



深入解析
流体
运动过程

仿生学

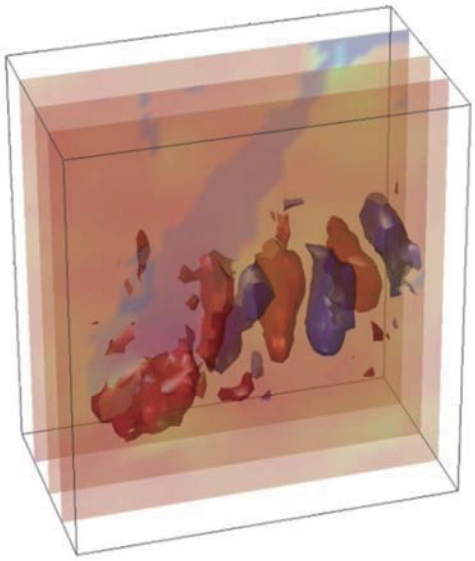
生物学家和工程师都对鱼类游动产生的流体运动很感兴趣，他们希望设计改进的机器人或机制来模拟实际的活物种。

通过快速处理，V3V ™系统可对鱼类的流体运动所产生的波结构进行前所未有的瞬时、高分辨率成像。

魔鬼刀鱼运动

“我研究鱼类和鱿鱼，它们在游泳时使用多个推进器和系统的协调运动产生复杂的三维涡流。V3V ™系统在真实的空间范围内提供实时的体三维速度场数据，是描述和量化这些尾流结构的三维性以及了解这些动物如何在各自环境中运动的强大工具。”

Ian Bartol 教授，
美国老多米尼加大学
生物科学系



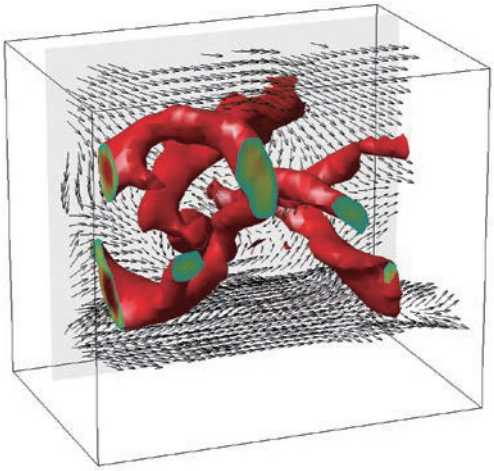
由魔鬼刀鱼产生的推进性尾流。鱼的轮廓可以看作是透明切片中的蓝色区域。红色和蓝色的等值面表示底部正常涡度的相反迹象。

鱼类运动模拟

“鱼类和其他水生动物周围的流动模式揭示了有趣的现象，这些现象已被用于开发水下交通工具，以及研究鱼类的迁移、进食和逃跑方式。在该应用中，V3V ™用于确定模拟鱼尾流中的主要流体特征，包括扭曲的前缘涡以及沿从尾鳍流出的顺流方向的涡度。”

TSI 代表处
TSI 公司

参考：TSI 应用说明 V3V-009，模拟鱼。



模拟鱼下游尾迹中的旋涡结构。从左到右流动。

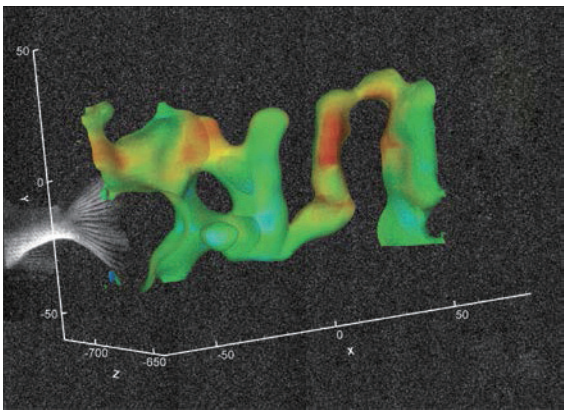
蓝鳃鱼运动的测量

“以往关于游动鱼类尾流动力学的研究都是依靠二维 PIV 来假设涡结构。现在，使用 V3V ™系统，我们已经确认了由同形尾翼产生的涡流环的三维结构确实如预期的那样。

此外，多个横向通过的尾部产生了一个连接的涡环链。V3V ™使我们能够在活鱼和类似机器人中瞬间捕捉到背鳍和类似鳍与尾鳍的三维尾流的相互作用。”

George Lauder 教授，
美国哈佛大学
比较动物学博物馆

参考文献：Flamman B.、Lauder G.、Troolin D. 和 Strand T.（2010 年），“远距鱼类运动的瞬时立体尾流分析”，最佳海报，SICB 会议，2010 年 1 月。



蓝鳃鱼产生的尾流叠加在实际的数据图像上。鱼的尾鳍在左边可见。涡量等值面，不同的颜色显示流向速度。

TSI V3V ™ 系统

	V3V-9000-TS	V3V-9000-CS	V3V-Flex
摄像头数量	3	3	2 - 8
摄像头类型	像素分辨率高达 2400 万像素的高分辨率相机	像素分辨率高达 2900 万像素的高分辨率相机	+ 高达 2900 万像素的高像素分辨率相机 + 帧率高达 50 kHz 的高帧率摄像机
激光器	高能量双腔脉冲激光器 Nd：YLF 激光器		高重频脉冲激光器 + 功率高达 400 W，脉冲频率高达 50 kHz 的双腔 Nd；YAG 激光器。 + 功率高达 100 W，脉冲频率高达 5 kHz 的双腔 Nd；YLF 激光器。 低频 Nd:YAG 激光器 + 每脉冲能量高达 400mJ，脉冲频率高达 15Hz 的双腔激光器。
校准系统	V3V-CAL-TS 校准模块；目标为 100 mm × 100 mm，点间距为 2 mm	V3V-CAL 校准模块；目标为 200 mm × 200 mm，点间距为 5 mm	V3V-CAL 校准模块；目标为 200 mm × 200 mm，点间距 5 mm；100 mm × 100 mm，点间距 2 mm
摄像头支架 (PCM)	带摄像头镜头的 V3V-9000-TS 支架	带摄像头镜头的 V3V-9000-CS 支架	使用 Bosch 轨道的柔性框架配置
同步	时间分辨率分辨率为 0.25 ns 的同步控制器		
采集和分析软件	Insight V3V 4G 图像采集与分析软件包		
示例应用程序	+ 湍流结构测量 + 边界层流动 + 与翼型流体的相互作用	+ 相干结构测量 + 尾流；螺旋桨流体 + 生物共生流体	+ 湍流边界层 + 流 / 体相互作用 + 内部流体 + 生物流体

TSI 和 TSI logo 是注册商标，V3V 是 TSI 公司的注册商标。

UNDERSANDING, ACCELERATED

提赛环科仪器贸易(北京)有限公司
美国TSI集团全资子公司
地址 : 北京市海淀区中关村南大街甲 12 号寰太大厦 1201 室
邮编 : 100081
电话 : 010-8219 7688
传真 : 010-8219 7699
E-mail: tsichina@tsi.com
http://www.tsi.com/cn

请直接扫描二维码或查找公众号
“美国 TSI”
关注美国 TSI 公司微信公众平台

P/N 5002364 Rev C (A4) ©2018 TSI 公司