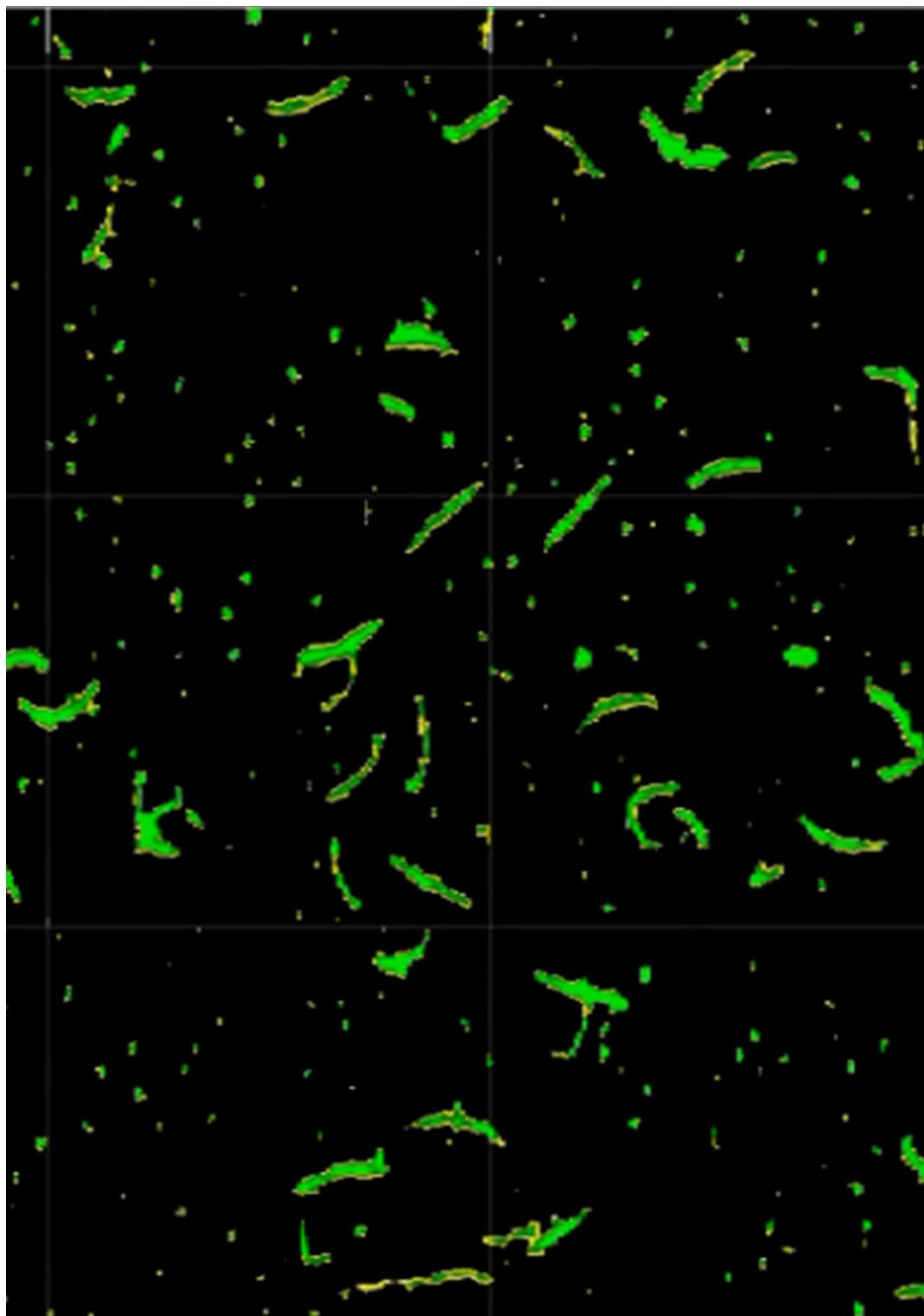


高速摄像机使湍流中粒子图像测速成为可能

使用粒子图像测速技术研究湍流中的微塑料旋转，可以建立新的计算预测模型。



研究人员：

Marco De Paoli,
维也纳工业大学
(TU Wien) 流体
力学与传热研究所

应用：

湍流

成像技术：

类似于层析粒
子图像测速技术
(Tomo-PIV)

开发者：

研究目标

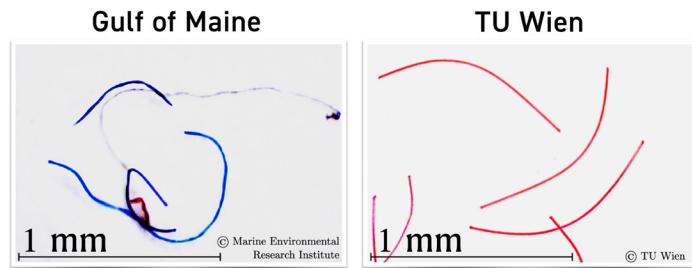
- 观察微塑料在湍流中的旋转动力学
- 增加对湍流中微塑料传播方式的理解
- 生成数据以改进计算模型

遍布世界各地的河流和海洋中的微塑料是全球关注的生物和生态系统健康问题。由于微塑料的尺寸在毫米级，它们在沉淀之前可以在水中长距离移动，大范围的分布使得精确定位在哪里进行清洁工作最为有效充满挑战。

克服这项挑战的一种方法是使用计算模型来模拟微塑料在水中的传播方式。然而，大多数用于这项工作的模型都旨在模拟悬浮在均匀层流中的球形微塑料。对于微塑料可能传播到哪里的真实预测，仅靠这类模型是不够的。

实际上，大多数微塑料的形态复杂，比如各向异性粒子，这使得它们在水中分散和传播的机制更加复杂。此外，微塑料经常存在于湍流水体中，这增加了用于预测微塑料行为的模型设计的复杂程度。

为了应对这些挑战，维也纳工业大学 (TU Wien) 流体力学与传热研究所的研究人员使用高速摄像机记录湍流中的微塑料。他们的工作是提供数据集，以便更准确地生成代表真实世界情况的预测模型。



1. 从缅因湾取样的真实微塑料（左）和实验中使用的纤维（右）的对比。

建模人员可以使用这些新数据来改进自己的模型并运行模拟，而无需自己进行昂贵且耗时的实验。准确预测微塑料最集中区域的增强模型可以指导后续的清理工作，使其更加有针对性和有效。

阐明各向异性粒子的旋转动力学

Marco De Paoli 与维也纳工业大学团队合作研究湍流中纤维状微塑料的行为。纤维在水中的运动很大程度上取决于它们的旋转方式，即纤维可以围绕其纵轴旋转或围绕另外两个横轴翻转。

由于微塑料的运动也由其旋转决定，研究人员对纤维的旋转动力学进行研究，以了解它如何影响微塑料在湍流系统中的传播。在实验中，研究团队使用略微弯曲的微塑料纤维，以便更好地观察每根纤维围绕其主轴的旋转。

为了给纤维提供湍流，研究人员使用了一个尺寸为 $10 \times 0.8 \times 0.08$ 米 (长 x 宽 x 高) 的流体通道，并将六台 Phantom VEO 340L 摄像机对准通道以观察纤维的运动。根据实验的运行情况，他们将摄像机放置在通道的上方、下方或侧方。



2. 流体通道和摄像机设置。

六台摄像机被放置在一起，每台摄像机都略微倾斜，以提供不同的视角，通过这种方式布置摄像机可以使团队捕捉到三维体积内的流动。研究人员在通道下方放置了一个 532 纳米、每脉冲 120 毫焦的激光器以提供照明，并将其对准一面镜子，镜子通过通道的一侧向上反射光。悬浮在通道内的微塑料纤维反射了激光，以便摄像机对其进行捕获。作为一种可视化技术，这种激光照明和摄像机布置类似于层析粒子图像测速法 (Tomo-PIV)。



3. 六台以不同角度排列的摄像机捕捉流经由激光照明的通道内的微塑料纤维。

在将微塑料纤维密集地置入流体通道后，研究人员引入了湍流。Phantom 摄像机以 800 帧/秒 (fps) 和 2560 x 1600 像素分辨率进行录制，捕捉到流经六台摄像机视场 (FOV) 的纤维的光强度变化。

将多角度镜头相结合

研究人员使用多个摄像机角度记录下的镜头，以层析扫描的方式重建了一个包含纤维的体素化体积。他们使用 LaVision 软件中的层析成像重建算法生成这个体积，团队由此可以使用他们自己基于 Matlab 的软件来确定每根纤维在每时每刻的方向。

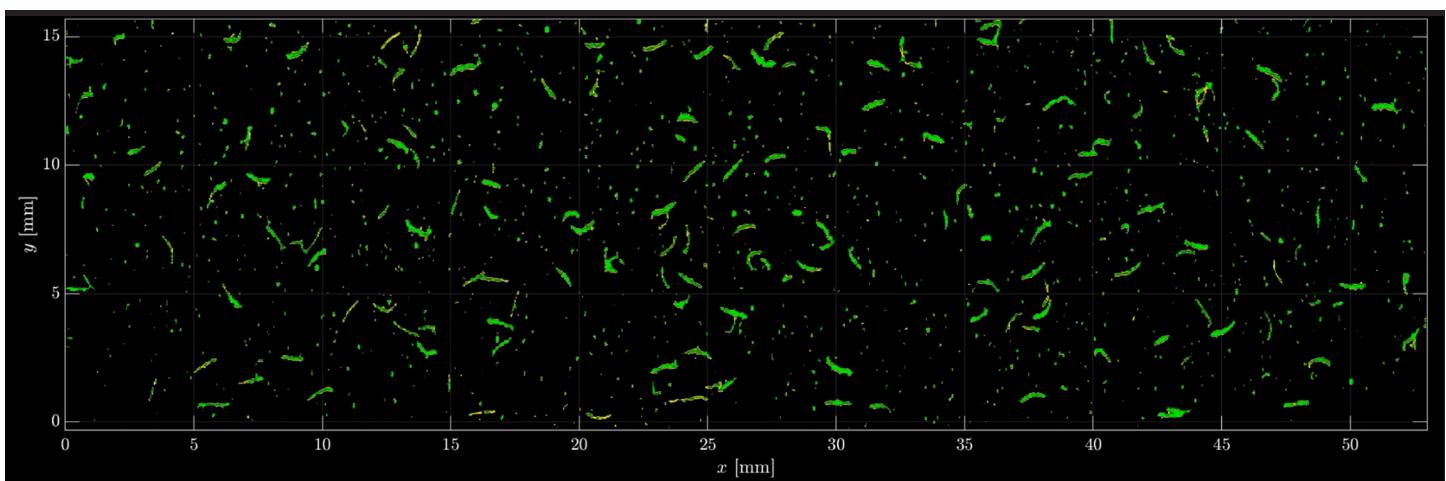
当每根纤维流经通道时，通过多次重复这一过程，研究人员观察到纤维的方向是如何随时间推移而变化的，并能够计算出纤维的旋转速率。

粒子图像测速简介

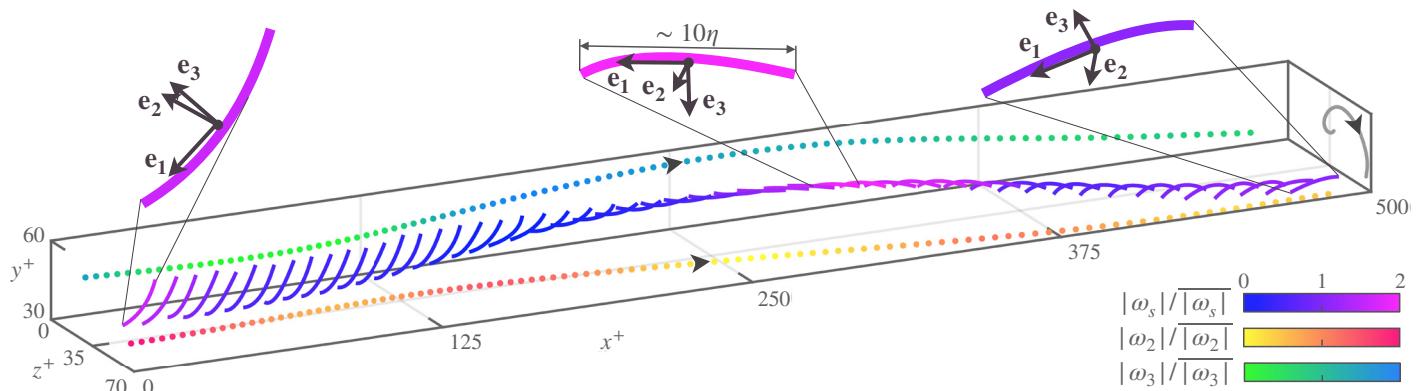
粒子图像测速 (PIV) 是流体研究中常用的一种光学可视化技术，它可以生成流体的瞬时速度场，但在设置和捕捉方面都具有独特的技术挑战。PIV 是将示踪粒子密集地置入流体，随着时间的推移，这些示踪粒子被照射并成像。通过高速摄像机捕捉粒子的运动，研究人员可以计算出粒子的瞬时速度，从而有助于计算流体的速度。常见的专业 PIV 技术包括立体粒子图像测速 (Stereo-PIV)、时间分辨粒子图像测速 (TR-PIV) 和层析粒子图像测速 (Tomo-PIV)。

通过将各向异性微塑料纤维与高速可视化技术相结合，研究人员首次计算出纤维的速度，翻转和旋转速率。将这些信息与人造湍流的已知特征相结合，维也纳工业大学的科学家们对湍流是如何影响微塑料的传播有了深入的了解。

但团队的工作尚未结束，他们计划通过在湍流中引入波浪来拓展这项研究。虽然微塑料的行为探究是这些实验的最初目标，但是这些见解正在改进用于预测其他各向异性粒子（如浮游植物和花粉）运动的模型。



4. 一台 Phantom VEO 340L 摄像机以 800 fps 记录下由激光照明的微塑料纤维流经湍流通道。



5. 通过跟踪纤维运动的方向和位置，研究人员可以确定其旋转速率。



“如果大多数微塑料都是简单的形状，如均匀层流中的球体或椭球体，那么预测它们的行为将是一项简单得多的任务。然而，微塑料在湍流中通常是复杂的形状，这极大地影响了它们的传播方式，如果不采取实验就无法对其进行预测。我们实验中使用的可视化技术需要高速摄像机。Phantom VEO 340L 将灵敏度和性能完美结合在一起，使我们能够在高空间分辨率下实现精确的高速测量。”

- Marco De Paoli

如果您的研究需要先进的可视化技术，我们的高速成像专家团队随时准备为您提供帮助。请发送邮件至 phantomacademy@ametek.com 与我们的[应用服务](#)部门取得联系。

要了解更多信息，请访问：
www.phantomcameras.cn

参考图片：

1. Marco De Paoli, TU Wien, 2024
2. Giurgiu Vlad, TU Wien, 2024
3. Giurgiu Vlad, TU Wien, 2024
4. Giuseppe Carlo Alp Caridi, TU Wien, 2024
5. Giurgiu Vlad, TU Wien, 2024