

高雷诺数下均匀各向同性湍流中 被动标量掺混的实验研究

刘翕然¹, 彭盛宏¹, 郗恒东¹

¹ 西北工业大学航空学院极端力学研究院, 西安710000

摘要

随着数值模拟的发展, 让我们对高雷诺数下流动掺混特征有了深入理解, 然而高雷诺数下被动标量场的实验测量较少。研究被动标量有助于我们重新认识经典标量湍流理论, 对许多工程问题也有重要意义^[1]。我们以冯卡门涡旋流动系统为对象, 利用LIF技术对不同雷诺数下的均匀各向同性流场中被动标量掺混进行测量。

我们设计了向冯卡门涡旋流动系统注入荧光染料的装置, 该装置为两套环形的荧光染料溶液喷洒装置, 在冯卡门涡旋流动系统中上下对置。上侧喷洒装置上开有12个均匀布置的小孔, 以400ml/min的流量喷出浓度为100ppb的罗丹明6G母液。为保证测量区域流场均匀性, 下侧喷洒装置喷出等流量清水, 通过LIF技术获得浓度被动标量的分布。

喷洒装置设计

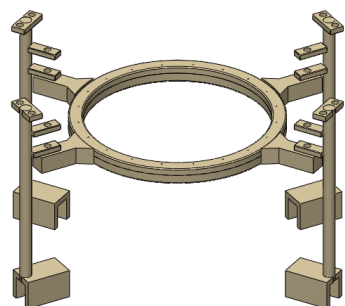


图1. 荧光染料溶液喷洒装置共有两套, 镜像对称地安装在冯卡门涡旋流动系统腔体内上下两侧; 两套喷洒装置之间的距离为100mm。上方的荧光染料溶液喷洒装置喷洒的是浓度的荧光染料母液, 下方的喷洒装置喷洒的则是相同流量的清水。

实验与流动测量

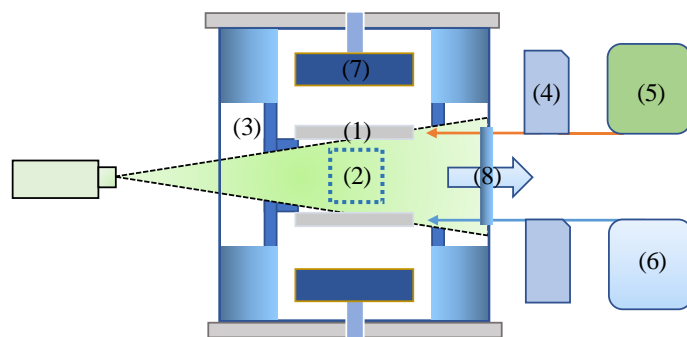


图2. (1)是荧光染料溶液喷洒装置; (2)是观测区域; (3)是支撑荧光染料溶液喷洒装置的支架; (4)是蠕动泵; (5)是装有荧光染料母液的容器; (6)是装有清水的容器; (7)是叶轮; (8)是开有排水孔的腔体壁面。

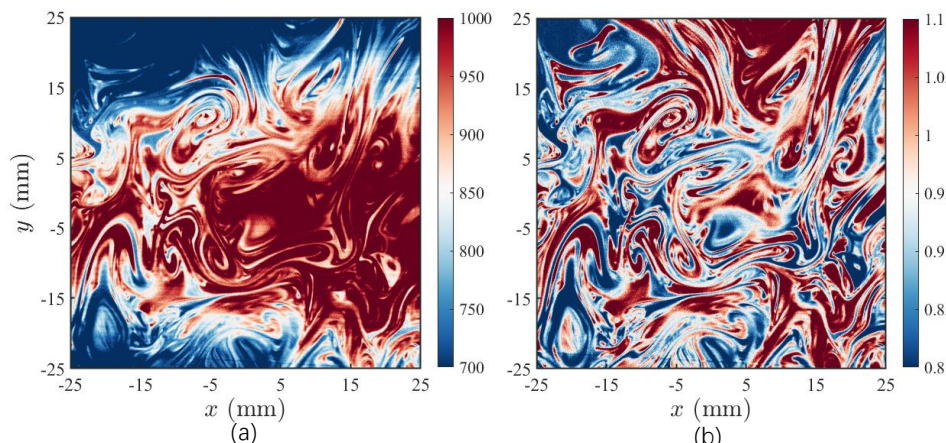


图3. 对某张瞬时标量场图像的处理: (a)一张未经任何处理的瞬时标量场, 颜色栏中不同色阶对应图像中像素点的信号强度; (b)经过降噪、无量纲化处理后的标量场图像, 颜色栏中不同色阶对应图像中像素点的信号强度的无量纲值。

图1中设计的染料喷洒装置被安装在冯卡门涡旋流动系统的中心区域, 它所处的位置如图2。通过LIF技术, 拍摄获得了冯卡门涡旋流动系统中心区域的标量分布图像。激光器发出的高斯激光使得图像整体光强分布不均, 且还存在噪声干扰。通过高斯滤波处理背景噪声和参考图像, 并对标量分布无量纲化。处理效果如图3。

结果与展望

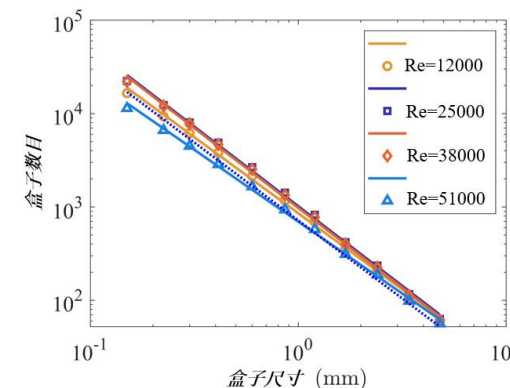


图4. 实验得到的分形维数分别为1.63、1.70、1.71和1.54, 均分布在1.67附近, 平均偏差不超过5%, 结果与Mandelbrot的预测契合^[2]。

目前, 高聚物与均匀各项同性湍流的互相作用得到了国内外许多专家学者的深入研究。牛顿流体的流动状态由雷诺数控制, 而高聚物湍流还受到维森伯格数和高聚物浓度的影响。我们可以利用LIF技术研究均匀各向同性高聚物湍流被动标量场的特性。

参考文献

- [1]刘亚明,柳朝晖,贺铸,郑楚光.湍流被动标量研究的最新进展[J].力学进展,2005(04):549-558.
- [2] Benoit B.Mandelbrot. On the geometry of homogeneous turbulence, with stress on the fractal dimension of the iso-surfaces of scalars[J]. Journal of Fluid Mechanics, 2006, 72(3):401-416.