

纳米示踪粒子对微纳尺度流场速度测量的影响

李战华

(中国科学院力学研究所 LNM 室, 北京 100190)

摘要: 微纳尺度流场速度测量采用 MicroPIV 或 NanoPIV 技术时仍然需要使用示踪粒子。在用 PIV 测量宏观速度场时, 需要考虑示踪粒子的跟随性、沉降以及散射特性等[1][2]。而在微纳尺度流场速度测量中, 除以上条件外还需要考虑粒径、粒子表面特性及粒子布朗运动等影响[3]。本文将根据本组近年实验研究结果, 综述纳米示踪粒子的各种参数对流场速度测量的影响, 包括:

- 粒径影响。在近壁测量中 ($z=0.25-1.5 \mu\text{m}$), 实验结果表明采用 200nm 示踪粒子的速度测量值将大于采用 50nm 示踪粒子的实验结果[4]。
- 粒子浓度分布影响。在近壁区由于出现排空层, 粒子浓度符合 Boltzmann 分布, 而不是均匀分布。MicroPIV 测量是对测量深度范围内的粒子速度的平均, 需要考虑粒子浓度的非均匀分布[5]。
- 粒子表面静电力的影响。近壁测量, 壁面和粒子表面带有静电位, 需要考虑两者静电力的影响[5]。另外在有限长度管流中, 壁面双电层中扩散层电荷迁移造成电荷在下游聚集形成流动电势, 引起带电粒子的附加电泳速度。
- 粒子布朗运动。当粒径小于 200nm 后, 粒子布朗运动位移达到每秒微米量级。在测量中需要考虑粒子布朗位移对速度测量的影响。
- 图像处理技术。MicroPIV 采用荧光纳米粒子, 浓度较稀, 需要采用叠加技术提高统计粒子的数量[6]。对纳米粒子的定位要求较高的测量中, 通过数值方法可将定位精度提高至 0.5 个像素。

流场速度测量从采用 PIV 技术发展到了 MicroPIV 和 NanoPIV, 相应示踪粒子尺度由微米减小到纳米。为了获得真实流场信息, 粒子自身特性对流速测量的影响值得关注。。

参考文献:

- [1] 范洁川等,《近代流动显示技术》,国防工业出版社,2002。
- [2] 尹协振、续伯钦、张寒虹,《实验力学》,高等教育出版社,2012。
- [3] 李战华、吴健康、胡国庆、胡国辉,《微流控芯片中的流体流动》,科学出版社,2012。
- [4] Xu Zheng & Zhanhua Silber-Li. "The influence of nano-particle tracers on the slip length measurements by microPTV". Acta Mechanica Sinica, DOI 10.1007/s10409-013-0027-0, 2013.
- [5] Xu Zheng & Zhanhua Silber-Li. "The influence of Saffman lift force on nano-Particle's concentration distribution near wall". Applied Phys. Letter. Vol.95, 124105. 2009.
- [6] Xu Zheng & Zhanhua Silber-Li. "Measurement of velocity profile in a rectangular microchannel with aspect ratio $a=0.35$ ". Experiments in Fluids. Vol 44, 951-959, 2008.