

CSTAM2012-B03-0230

关于液固界面滑移长度测量的讨论¹⁾李战华²⁾, 郑旭

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 微纳尺度流动中, 液固边界滑移问题已经得到了人们的关注。流体滑移边界条件常常采用 Navier 提出来的线性滑移模型来描述:

$$u_{\text{slip}} = b\dot{\gamma}_w = b \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_w$$

其中 u_{slip} 为边界上的流体滑移速度, b 为滑移长度, $\dot{\gamma}_w$ 为流体在壁面剪切率。但目前定量确定滑移长度 b 仍然众说纷纭。即使对于光滑疏水表面, 分子动力学 (MD) 模拟结果表明 b 最多只有几个纳米, 而有的实验测量结果则达到微米量级。近来分析表明, 界面滑移的测量会受到界面附近多种复杂因素的影响, 导致了各种实验测量结果的分散性。本文将从实验的角度介绍滑移长度的测量方法, 包括 MicroPIV(NanoPIV) 流速法和 SFA/AFM 表面力法测量滑移长度 b 的原理, 各自的优势及测量中的主要问题, 以便对各种实验结果有更客观的认识。

MicroPIV 和 NanoPIV 是以传统流体力学测速技术 PIV 为基础, 利用荧光显微或全反射隐失波技术, 通过速度场测量可直接得到滑移速度而间接获得滑移长度。但示踪粒子的使用引入了粒径, 粒子浓度等影响因素。目前对光滑表面, MicroPIV 已可精确地测量到近壁 $0.5\mu\text{m}$ 位置, NanoPIV 则可达到 100nm 的范围。但示踪粒子粒径对测量的影响, 带粗糙度表面的滑移长度测量, 电场驱动的电渗流滑移以及微尺度气体滑移的测量仍是目前的难点。本文也将介绍我们采用 MicroPIV/NanoPIV 测量边界滑移长度得到的结果。另一方面, SFA/AFM 是通过探针向壁面靠近并挤压液体过程中的受力变化来测量液膜与壁面之间的滑移, 是一种间接测量滑移长度 b 的方法。其优点是探针与壁面的液膜厚度可以达到几个纳米量级, 更加真实地反映壁面对液体的影响。但 SFA/AFM 是接触式测量, 因此探针, 壁面的影响更复杂。

无论采用何种方法测量滑移长度, 均应该了解壁面性质, 流场分布及粒子选取等因素对测量的影响。这些是在参照实验数据与理论模型对比时应该考虑的问题。

关键词: 滑移长度, 微纳尺度流动, Micro/NanoPIV 测量, 液固界面

¹⁾ 国家自然科学基金 (10872203) 和中国科学院知识创新项目 (KJCX2-YW-H18) 资助

²⁾ Email: lili@imech.ac.cn