

水龟漂浮时液面形貌的实验研究*

刘爽[†] 刘战伟¹ 石文雄¹ 黄先富²
(1. 北京理工大学宇航学院, 北京 100081)
(2. 中国科学院力学研究所, 北京 100190)

摘要 发展了一种基于透射数字散斑相关原理的液面微形貌测量方法, 并通过该方法测量了水龟在水面上漂浮时的液面形貌变化。根据此液面形貌变化, 计算了水龟在液面上漂浮时的浮力大小, 并与水龟所受的重力比较, 验证了该方法的正确性, 测量误差在 8% 以内。

关键词: 数字散斑相关原理; 液面形貌测量; 水龟

一、引言

在自然界中, 水龟能在水面上行走、跳跃、高速滑行而不会沉入水中。科学界一直对此很感兴趣, 进行了一系列研究, 但是由于不能实时、准确地测量水龟在水面上的液面形貌而不能对水龟与液面的作用机制做定量的研究。本文提出了一种基于透射散斑相关原理的液面微形貌测量方法, 可实现液面微形貌的快速、高精度测量。其实验装置简单、精度高、成本低。通过对水龟漂浮在水面引起的液面变形的测量, 绘制了液面形貌图, 验证了该方法的有效性。

二、测量原理

当透明液面发生离面变形时, 在液面的上方观察水底的物体, 可发现水底物体的图像发生变形, 该变形与液面的离面变形存在具体的数学关系。在透明水槽底部放置一张散斑图, 当液面受到扰动时, 从液面上方观察到的水底散斑图像会出现畸变(面内位移)。不同时刻的散斑图像畸变可以通过垂直液面放置的 CCD 相机记录下来, 运用数字图像相关技术可以定量求得不同时刻散斑图像的面内位移。将不同时刻的面内位移代入推导的液面离面变形与散斑图的面内位移之间的数学关系, 继而可以迭代求得不同时刻的液面离面变形, 即可以得到液面形貌动态变化。

三、实验过程和结果

* 注: 国家自然科学基金资助项目(11072033, 11372037)

[†]报告人简介: 刘爽(1991.1-), 男, 研究生, 实验力学。E-mail: 756372624@bit.edu.cn

实验中使用的实验器材有：高速相机、冷光源、水槽、散斑等。

具体的实验步骤：1) 将高速相机、冷光源、水槽及散斑图如图 2 所示布置，通过调整冷光源亮度和相机焦距，使相机能拍摄到清楚的散斑图；2) 待液面静止时，拍摄一幅水底散斑图的图像并将其存入计算机作为参考图；3) 将水黾放入水槽中，待其静止触发相机拍摄不同时刻水底散斑图的图像存入内存作为计算图序列；4) 利用数字散斑相关技术对放入水黾后相机拍摄到的散斑图像进行处理可以得到散斑图面内 U、V 方向位移场，图 3 为 U 场位移图；5) 将所求面内方向的位移代入公式中，利用计算机进行牛顿迭代求解，将迭代结果取平均可得到液面形貌，如图 4 所示，图 1 为水黾在水面上漂浮图。



图 1 水黾漂浮图

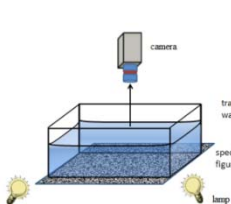


图 2 实验布置示意图

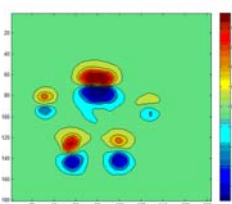


图 3 U 场位移图

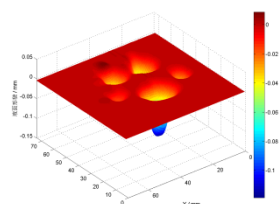


图 4 液面形貌

四、结果分析

在水黾这种模型中，根据广义阿基米德原理可以认为水黾排开水体积所受的重力等于水黾所受重力。即

$$G = \rho g V \quad (1)$$

式中， G 为水黾所受重力，等于 30.8940 dyn ； ρ 为水的密度，等于 1 g/cm^3 ； g 为重力加速度，等于 9.8 N/kg ； V 为水黾排开的水的体积。根据计算可得水黾腿排开水所受的重力为 28.4283 dyn 。故可计算得到的测量误差为 8%。

五、结论

本文提出了一种简易可行的液面微形貌测量方法。通过对水黾在水面上漂浮时液面形貌的测量，验证了该方法的有效性。本研究为液面形貌的测量、水黾漂浮机理的研究提供了一种简便的光学测量方法。

参 考 文 献

- 1 刘战伟, 杨晓波, 方志军, 谢惠民. 一种液面微形貌测量技术及在微浮力和表面张力研究中的应用. 光学技术, 2011; 37(6): 641~646
- 2 Zhanwei L, Xianfu H, Huimin X. Optics and Lasers in Engineering, 2013; 51: 167-171