

## 用 LDA 测量 U 形水槽内的振荡流

杨家寿 袁茂竹 骆树奎

(中国科学院力学研究所)

**提要** 本文介绍 LDA 用于测量 U 形水槽内的振荡流。水槽直管段为正方形, 弯管段内侧面及外侧弯面是专门计算设计的。对于水平直管段、竖管段及弯管段共七个截面, 测量了边界层外振荡流速的振幅分布。对于水平直管段上底面及下底面各三个截面, 测量了边界层内振荡流速的振幅分布及相位分布, 测量结果和无限长槽道的理论计算结果作了比较, 二者基本符合。

**关键词** 激光测速, 激光应用, 振荡流, 振荡流测量, 海洋工程

振荡流乃非定常流之一。在不可压缩流体的振荡流中, 流体的瞬时振荡位移为

$$A_t = a \sin(2\pi t/T) \quad (1)$$

而流场中某点处的瞬时振荡流速为

$$v_t = v \sin[(2\pi t/T) + \varphi] \quad (2)$$

在等幅振荡时, 振幅  $a$  和周期  $T$  是常量, 但在弯管段,  $v_t$  的振幅  $V$  随位置变; 在边界层内, 振幅  $V$  和相位  $\varphi$  都随位置变。为测量振荡流速  $v_t$  的振幅和相位  $\varphi$ , 用传统的仪器和方法难于实现。

U 形水槽是产生振荡流的一种实验设备, 已用于研究海洋工程中的波浪载荷问题<sup>[1,2]</sup>。中国科学院力学所已对这种振荡流开展理论研究<sup>[3,4]</sup>, 并建成一套 U84-I 型水槽, 开展实验研究。为探讨测量振荡流的方法, 为取得实验数据, 以验证理论并检验实验设备的性能, 我们采用 LDA (激光多普勒测速仪), 对 U84-I 型水槽内的振荡流作了初步测量。

水槽本体由有机玻璃制成。直管段流道截面为正方形。弯管段内侧弯面和外侧弯面的形状是专门计算设计的。图 1 示出流道尺寸及座标系统。水槽右竖管口联结气驱动装置, 以驱动水柱振荡。由风门控制气量, 可使水柱作等幅振荡。本实验中, 水槽表面距图 1 中  $xy$  平面的静止高度为 1050 mm; (1) 式中  $a = 111$  mm、 $T = 2.593$  秒; 相应地, 水柱表面振荡速度的振幅为

$$v_0 = 2\pi a/T = 269 \text{ mm/s}$$

水槽左竖管段装有 CYS 型压力计, 用于监测水柱的振幅  $a$ , 并提供正比于 (1) 式的参考信号, 用于测量 (2) 式中的相位  $\varphi$ 。

采用丹麦 DANTEC 公司的一维差分式 LDA, 以氦氖激光为光源, 带光学频移, 按前向接收, 配有 55N10 频移器及 55N20 频率跟踪器。为使信号尽可能连续, 在水中添加牛奶, 体积浓度约为万分之一。

本文于 1986 年 1 月 20 日收到。

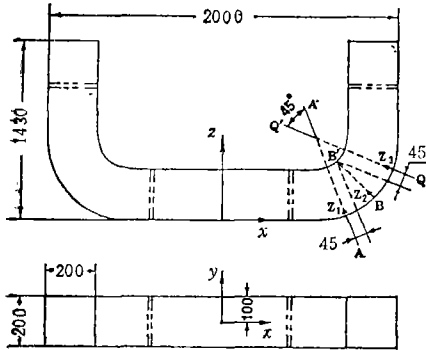


图1 U84-1型水槽的流道尺寸

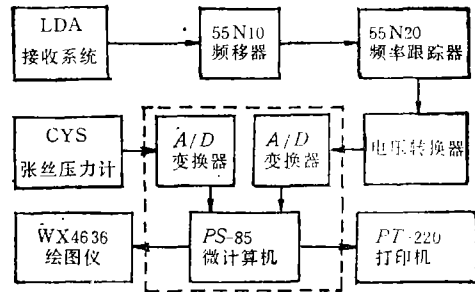


图2 信号处理方框图

测量边界层外时,测点定位不需要很准确,但测量边界层内时,因速度梯度大,故需准确确定测点距水槽底面的距离。为此我们让两激光束相对于水槽底面倾斜同一微小角度,使光机发射系统沿水槽底面的法线方向移动到适当位置,可看到两激光束射到水槽底面上的两条亮线相交,交叉点两侧的亮线长度相等。这就表明,此时测点位于水槽底面。然后,根据百分表读数,依次移动光机系统,可对各测点定位。试验表明,此法可使测点距水槽底面距离的定位误差不大于 0.05 mm,既准确又简便易行。

图 2 是信号处理方框图。对于来自压力计的电压及来自 LDA 的信号,计算机交替采样,在一个振荡周期内,采样数各为 130。绘图仪绘出流速  $v_t$  随时间变化的波形及压力变化的波形。打印机按时间顺序打印出流速和压力的数据。流速峰值就是 (2) 式中需测量的振幅  $V$ 。流速波形相对于压力波形的相位超前量就是 (2) 式中需测量的相位  $\varphi$ 。

振荡流的流向是往复交替改变的。为测量这样的流速,55N10 频移器设置的频移量  $f_s$  应适当,其绝对值应约为多普勒频率最大值的 2 倍。频率跟踪器的模拟输出信号由 A/D 变换器转换为数字量。经计算机采样后,得到的数据值  $v'_i$  与流速  $v_t$  成线性关系:

$$v_t = M_1 v'_i - M_2 \quad (3)$$

为确定  $M_1$  和  $M_2$ ,在流速为零时,分别对 55N10 频移器设置三种频移量  $f_s + f_a$ 、 $f_s$ 、 $f_s - f_a$ ,试验选定  $M_1$  和  $M_2$ ,由计算机按 (3) 式作测量处理,让对应的三种测得值  $v_{n1}$ 、 $v_{n2}$  和  $v_{n3}$  满足下列要求:

$$v_{n1} = -v_{n3} = d f_a, \quad v_{n2} = 0$$

这里  $d$  是探测体积中的干涉条纹间距,本实验中取值为  $d = 2.88$  微米。(3) 式就是计算机由采样值  $v'_i$  得出  $v_t$  所用的公式。

本实验受时间限制,仅在  $a = 111$  mm 情况下作了一些测量。在水平直管段选择三个截面,在竖管段选择一个截面,每个截面内选择三条直线,测量了边界层外振荡流速的振幅分布,以检验流场的均匀性。结果表明,在实验误差范围内,直管段边界层外的流场是均匀的。

在弯管段选择三个截面,每个截面内沿中心线测量了振荡流速的振幅分布。测量结果如图 3 所示。图中还示出由资料 [4] 得出的理论曲线。表 1 对图 3 中的符号标志作说明, $z_c$  是测点距流道外侧弯面的距离。由图 3 可见,由外侧弯面到内侧弯面,流速渐高。

具有平均流速的测点很偏近内侧弯面。最高流速为平均流速的 1.36 倍，而理论计算值是 1.4 倍<sup>[4]</sup>，二者很接近。实际上，因水槽边壁附近的有机玻璃受损坏，靠近内侧弯面约 2mm 范围内未能作测量；如能测到这一范围，预期最高流速会更接近于理论计算值。

在水平直管段上底面和下底面各选择三种位置，测量了边界层内振荡流速的振幅分布和相位分布。测量结果示于图 4、图 5 和图 6。各图中还示出由资料 [3] 得出的理论曲线。表 2、表 3 和表 4 分别对图 4、图 5 和图 6 中的符号

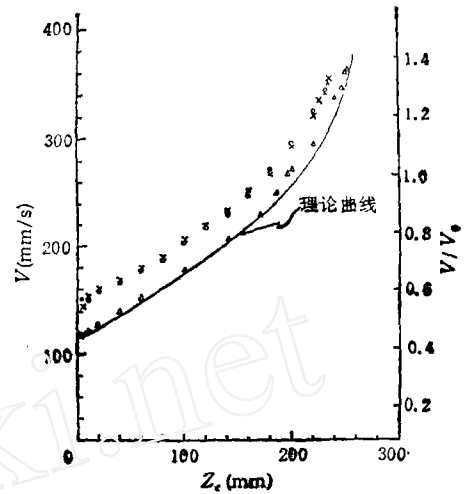


图 3 弯管段振荡流速的振幅分布

标志作说明。由这些图可见，测量结果与理论结果基本符合，特别是图 4 和图 5 中，从边界到流场中部，流速渐增，达最大值后，逐渐降至平均流速  $v_0$ ；流速最大值比平均流速  $v_0$  高 7.8%；这些方面，与理论结果符合较好。

在图 4 所示下底面的边界层中，流速最高的测点距边界的距离近于 2 mm，而在图 5

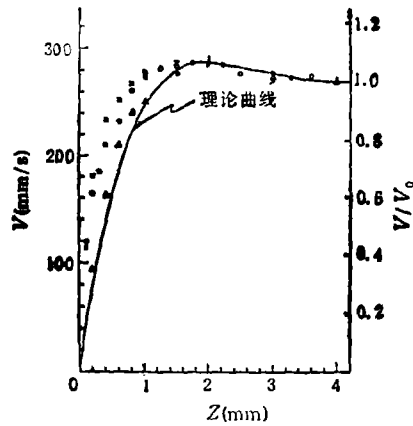


图 4 下底面边界层内振荡流速的振幅分布

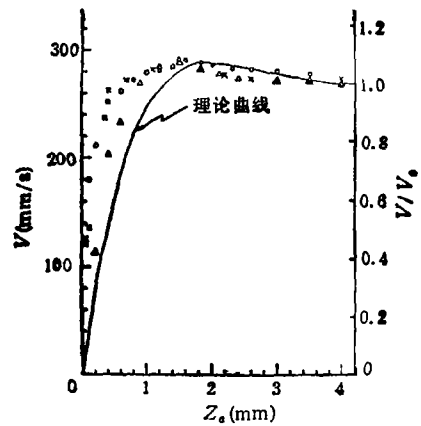


图 5 上底面边界层内振荡流速的振幅分布

表 2

标志	×	○	△
X (mm)	0	-200	0
Y (mm)	0	-60	-90

表 3

标志	×	○	△
X (mm)	0	-224	0
Y (mm)	0	90	-90
Z_c (mm)	200 mm - Z		

所示上底面的边界层中, 流速最高的测点距边界距离为 1.5 mm. 其次, 在不同部位的边

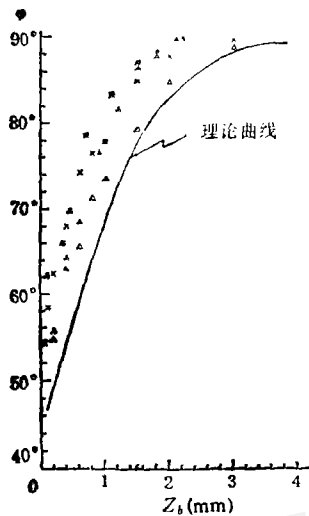


图6 边界层内振荡流速的相位分布

界层中, 测得的流速上升段的发展状况有一定的差别. 此外, 图6中相位分布的测量结果也与理论结果有一定偏离. 这些现象, 除了部分归因于测量误差以外, 可作下列解释: 实际水槽的直管段是长度有限的, 具有自身的复杂性; 而资料[3]则是针对理想的无限长直管作出理论的.

本实验所用的 LDA 是香港丹迪电子(远东)分公司提供的. 在实验中及本文完稿过程中, 林同骥教授

表 4

标志	▲	*	△	×
$X(\text{mm})$	0			
$Y(\text{mm})$	-90	0	-90	0
	上边界层		下边界层	
$Z_b(\text{mm})$	200mm - Z		Z	

花费大量时间作了多方面的指导. 周达、高宇欣、杨大铮参加了实验工作, 其中, 周达编制程序, 并在实验中按需要作修改. 此外, 米庆禄参与实验准备工作. 这里一一致谢.

### 参 考 文 献

- [1] Sarpkaya, T., Naval Postgraduate School, Monterey, U. S. A., NPS 59, (1976), SL 76021.
- [2] Maull, D. J. and Millina, M. G., Gostal Engng. 2, (1978), 149-168.
- [3] 林同骥、浦群: 矩形截面直管中的振荡流动, 力学学报, 18, 6, (1986), 481-491.
- [4] 浦群: 弯曲渠道中的振荡流和二次流, 力学学报, 19, 4, (1987).

## MEASUREMENT OF THE OSCILLATORY FLOW IN AN U-TUBE WITH LDA

Yang Jiashou, Yuan Maozhu, Luo Shukui

*(Institute of Mechanics, Academia Sinica)*

**Abstract** The oscillatory flow in an U-tube is measured using LDA. The horizontal section of the U-tube has a square cross-section. The shapes of the curved walls of the bent section are designed according to theoretical analysis. The velocity amplitude distributions of the oscillatory flow outside the boundary layer are measured at seven cross-sections along the horizontal, the vertical, and the bent sections respectively. Both the amplitude and the phase distributions of the oscillatory flow in the boundary layer are measured at three stations on the upper and the lower tube walls. Satisfactory agreements are obtained between the above measured results and those calculated from theory.

**Key words** Laser Velocimetry, Laser Application, Oscillatory Flows, Measurement of Oscillatory Flows, Ocean Engineering