

# 振荡流中圆柱受力测量研究

袁茂竹 李战华

(中国科学院力学研究所)

**摘要** 本文叙述了测量振荡流中圆柱受力大小和性质的方法和步骤。给出了测量结果,并首次给出这种力的频谱特性。

**关键词** 振荡流, 流向力, 横向力。

## 1 引言

U形振荡水槽是产生振荡流动的实验装置,已有效地用于研究海洋工程的结构载荷问题。实际结构的动力分析由于脉动阻力,涡旋脱落过程产生横向力及海浪运动的随机特性等原因而变得十分困难。通过振荡流的实验研究可以模拟简化的海浪流动,为分析海洋结构载荷提供了部分依据,对弄清楚振荡流中不同波高下结构物受力的大小和性质有重要意义。在我们的振荡水槽中,进行的圆柱受力测量是在  $\beta = 133 \sim 225$ ,  $KC = 5 \sim 63$ ,  $Re = 665 \sim 1.2 \times 10^4$  的范围内。

## 2 实验设备和仪器

**振荡水槽:**本装置<sup>[1]</sup>(图1)是自行设计的高1.5米,宽2.12米,截面为 $0.2 \times 0.2$ 米<sup>2</sup>的有机玻璃管道。内装约150公斤水。风机通过管道送气流,振荡水槽实验仪器控制U管一顶端蝶阀,周期地往复转动 $90^\circ$ ,控制气流驱动水流产生振荡流动。调节气流量大小可产生不同波高的振荡流动,在10~200毫米范围内连续可调。振荡周期为2.60秒。

**实验体:**采用圆柱体,置于水槽水平实验段中心处。圆柱长197毫米,直径20毫米,用有机玻璃制成。其结构设计的圆柱重量基本上等于它在水中所受浮力,圆柱在水中静止时传感器受力约为零。

**实验仪器主要有:**受力传感器,它给出受力原始信号;FHD-7型放大器将原始信号变作相应圆柱受力大小的电压信号;张丝压力计给出波高信息;管壁标尺给出波高值。这些数据信号由PS-85微机系统进行采集处理。

## 3 测量方法和步骤

1) 受力传感器结构与安装:在振荡水流中连续测量时间长,受力方向不断变化,需要给出正负两个方向的受力大小,因整个测量过程圆柱受力较小要求传感器灵敏度较高。根据

1987年9月14日收到。

这些特点我们自行研制了测力传感器。它采用接受型材料和柔顺系数高的结构，中间为弹性金属片，两面为性质相同的应变片，呈长条状三叠片结构，即所谓弯曲元件。应变为弯曲形变是受力方向可逆的传感器。传感器的几何尺寸长 50 毫米，宽 10 毫米，厚约 2 毫米。两端有黄铜夹头分别与 U 管壁和圆柱体固紧。以悬壁梁形式与圆柱支撑连结。与 U 管壁相固定的传感器端头为方形夹头。定向压紧螺钉可将传感器片体固定为水平或垂直方向。用这种方法使传感器可分别测量横向力或流向力。

2) 测力原理：振荡流流场是均匀的<sup>[2]</sup>。认为圆柱轴向受力均匀，简化为集中载荷作用于圆柱轴向中心。传感器自由端支撑在圆柱轴向中心上。载荷引起弯曲元件挠度曲线为<sup>[3]</sup>， $\omega = Fx^2(3l-x)/6EI$ ，其中  $F$  为集中载荷， $E$  和  $I$  分别为叠片的杨氏模量和惯性矩。 $l$  为

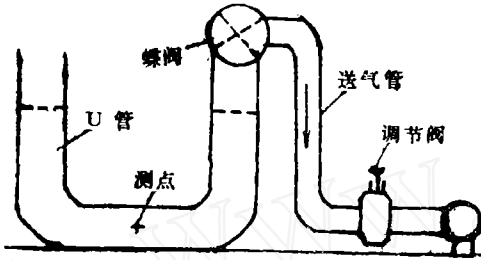


图 1 振荡水槽示意图

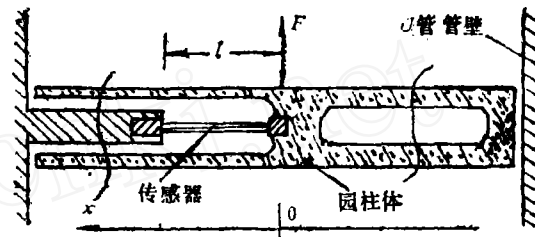


图 2 测力系统组装图

叠片长， $x$  为传感器片体某点轴向位置。最大弯矩  $M(0) = \omega''(0)EI = Fl$ 。传感器输出电压信号与弯矩成正比，即  $U = kFl$ 。用标定的方法测得  $k$  值，则由测得的电压值得出受力  $F$  的量值。

3) 标定：振荡流的频率十分低（低于 0.4 赫/秒），传感器受力过程基本为准静态，只此采用静态标定方法。将传感器与测量用放大器一起置于测试时相同的工作状态，在准确受力点作系统标定，这样避免了因更换仪器或使用状态而引进的误差。载荷在 5~200 克重范围内传感器应变片体充分地处于线弹性范围内，每种载荷下标定三次重复三次。我们的 2 个测力系统的灵敏度均在 15 毫伏/克重左右，其典型值如图 3 所示。当传感器受力为零时其值为放大器静态零点。放大器灵敏度为 1.000，这样系统稳定性好。水中测量过程基本是恒温过程，保证了数据可靠性和重复性，其非线性 < 1.5%。

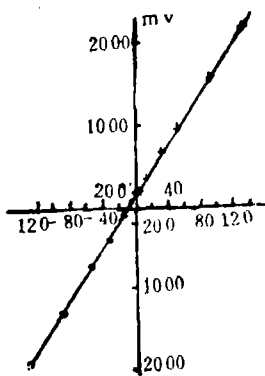


图 3 测力系统标定曲线

4) 测力系统固有频率测量：将传感器和圆柱置于水中，采取与测力实验时相同结构状态。用突然卸载的方法测量系统的固有频率，用 PS-85 计算机采集测力系统的输出信号，经 FFT 分析得出测力系统固有频率，其信号如图 4 a, b 所示。测得系统在水中固有频率约 19.2 赫/秒，满足了远大于水振荡频率（0.4 赫/秒）的要求。

5) 数据采集和处理：用 PS-85 微机采集并处理来自仪表的受力和波高的电压信号，计算机 A/D 变换的分辨率为 1 毫伏。实验过程中振荡水槽实验仪器为计算机提供外部的采样启动脉冲和每秒 60 次的采样脉冲，保证采样按波高时间顺序有固定的同步关系，便于数

据处理。每种波高连续采样 40 周期，重复三次，每次测量打印出最初 10 个周期的测量数

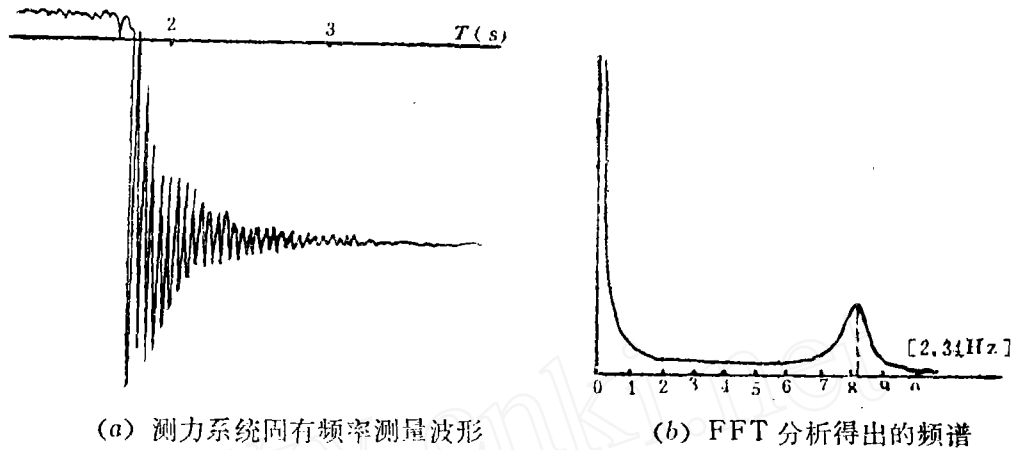


图 4

据，绘图仪同时画出波高变化及相应的圆柱受力波形，供实验现场监测，并与其他数据一起存盘待进一步处理。参见图 5。

#### 4 测量结果

在  $\beta (= D^2/\nu T) = 225$ ,  $KC (= 2\pi A/D)$  = 5~37.5 的范围内 ( $D$  为圆柱直径,  $\nu$  粘性系数,  $T$  为振荡周期,  $A$  为波高) 测量了流向力。图 5 示出由计算机采集数据并绘出的几种波高下流向力随波高变化的波形。在波高小于 20 毫米时流向力与波高有相同的频率和波形。波高增加频率不变，但波形在峰值附近有变化；各各波高，流向力波形大致“相同”。将存盘的数据经 FFT 分析得出流向力频谱，示于图 6。可以看出流向力频谱特性大致相同，波高在 30 毫米以上除基频外主要有三次谐波分量，它的存在使峰值附近波形有“畸变”。这与 Sarpkaya<sup>[4]</sup>的分析相同。

测量结果得出流向力均方根系数  $C_{r,m}$  =  $F_{r,m}/\rho D^3/2T^2$  随  $KC$  数变化规律及量值与 Mauli<sup>[5]</sup>的结果是一致 (图 7)。

在  $\beta = 225$ ,  $KC = 5 \sim 65$  的范围内测量了横向力。由于圆柱附近涡生成，脱落过程的影响，横向力的性质和频率特性远比流向力复杂。各种波高下横向力彼此不同。图 8 只给出了

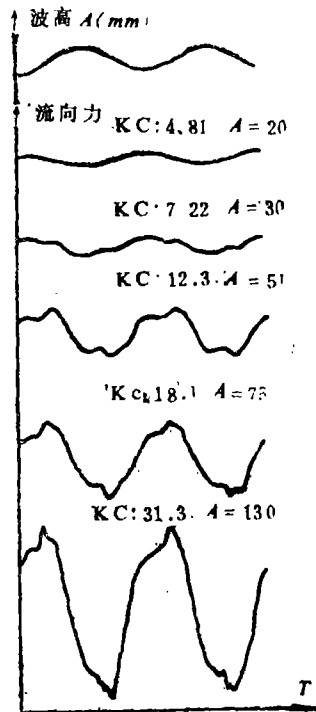


图 5 几种波高下流向力随波高变化的波形

55 高波 毫米时横向力波形以及相应频谱特性。其中 $|C_n|$ 为各频谱分量幅值。

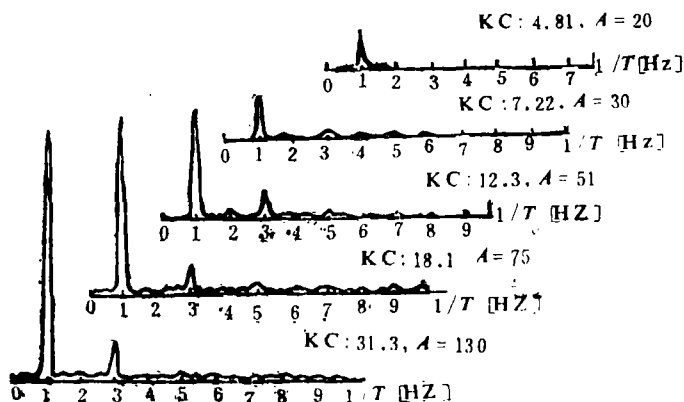


图 6 几种波高下流向力频谱特性

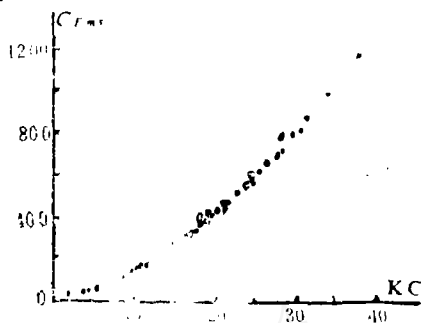
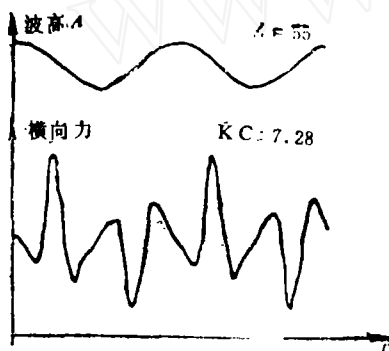
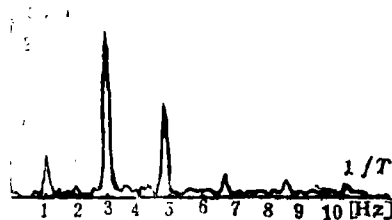


图 7 流向力均方根与 KC



(a) 横向力



力频谱特性

图 8

## 5 结束语

本文利用上述测力系统测量了圆柱在振荡水流中受力状态。各种波高下测得流向力与已知结果比较是完全一致的。在  $KC = 5 \sim 65$  的范围内测量了横向力的大小及相应波形。并首次给出这两种力在各种波高下的频谱特性。

测量工作具体步骤是在林同骥教授指导下进行的。

## 参 考 文 献

- [1] 李战华, 袁茂竹, 实验力学, 2 (1987), No.3, 9-15.
- [2] 杨家寿, 袁茂竹, 骆树奎, 用 LDV 测量振荡水槽内振荡流, 力学学报, 1987, No.6.
- [3] 渥美光, 铃木幸三, 材料力学, 人民教育出版社, 1981.
- [4] Sarpkaya, T., *J. Appl. Mech. Trans of ASME*, 42 (1975).
- [5] Maull, D. J., Milliner, M. G., *Coastal Eng.*, 2(1978), 149~168.

# Measurement of Forces Acting on Cylinder in Oscillating Water Flow

Yuan Maozhu      Li zhanhua

*(Institute of Mechanics, Academia Sinica)*

**Abstract** The experimental method of measuring forces acting on a cylinder in oscillating water flow is described. Results are given for inline and transverse forces. Especially, the frequency spectrums of these kinds of forces are also given.

**Key words** Oscillating flow, in line force, transverse force