

# 一、圆柱表面压强分布的测量

## 2.2.1 实验目的

用压力传感器、数据采集系统测量绕流圆柱表面的压强分布，绘制压强分布图，并计算圆柱体的阻力系数。

## 2.2.2 实验装置及实验原理

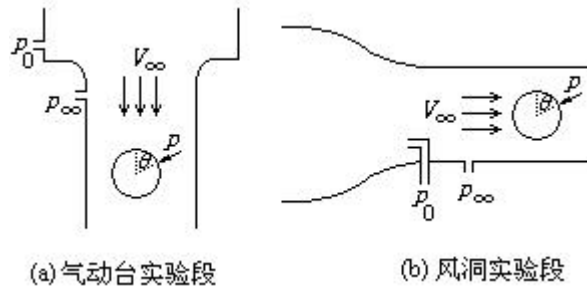


图 2.2.1 圆柱表面压强分布实验装置

本实验使用两种实验装置。图 2.2.1a 是空气动力学实验台的实验段。气流经过稳压箱，收缩段，进入实验段。圆柱体安装在实验段的中部。稳压箱的气流速度近似为零，其压强可认为是驻点压强  $p_0$ 。当气流经收缩段进入实验段后，气流速度分布比较均匀，速度为  $V_\infty$ ，压强为  $p_\infty$ 。气流绕圆柱体流动时，流动变得复杂起来。本实验测量圆柱体表面各点的压强分布。为了测量压强，在圆柱体表面开设一个测压孔，然后用导管将此压强引出。导管的出口在圆柱体的轴线上，再用软管将测点压强引至压力传感器。圆柱体可以绕其轴线转动，借此就能够测出圆柱体表面各点的压强分布。

图 2.2.1b 是风洞试验段，为了使气流速度分布尽量均匀，也为了降低气流的湍流度，气流首先流经的网格栅，然后才经收缩段进入实验段。实验段的气流速度  $V_\infty$  可认为均匀分布，其压强为  $p_\infty$ 。在实验段安装一个 L 型的总压管，用以测量气流的总压  $p_0$ 。圆柱体安装在实验段的中部，它可绕其轴线转动。圆柱体表面开设一个测压孔，用导管将测孔的压强引出。导管的出口位于圆柱体的转动轴线上。

在流体力学中，一般将压强用无量纲的参数——压强系数  $C_p$  来表示。

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2} = \frac{p - p_\infty}{p_0 - p_\infty} \quad (2.2.1)$$

式中， $p, p_\infty, p_0$  分别是测点压强，来流压强，驻点压强（总压）。式 (2.2.1) 使用了伯努利方程  $p_0 = p_\infty + \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 = p + \frac{1}{2} \rho V^2$ 。本实验将测量圆柱表面压强系数的分布。

在圆柱表面上圆周角  $0^\circ \sim 180^\circ$  的范围内布置若干测点，分别测  $p_0 - p_\infty$  和  $p - p_\infty$ ，按式 (2.2.1) 计算压强系数。

利用压强系数，可以求出圆柱体的阻力系数  $C_D$ 。

物体的阻力包括粘性阻力和压差阻力，粘性阻力很小，可以忽略不计，因此阻力  $F_D$  和阻力系数  $C_D$  可以表示为

$$F_D = \int_0^{2\pi} (p - p_\infty) \cos \theta R d\theta \quad (2.2.2)$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} = \frac{\int_0^{2\pi} (p - p_\infty) R \cos \theta d\theta}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} = \int_0^\pi C_p \cos \theta d\theta \quad (2.2.3)$$

式中， $\theta$  是测点位置的圆周角度，从前驻点起算。

本实验在  $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$  的范围内布置  $N$  个测点，于是

$$C_D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N [(C_p \cos \theta)_{i+1} + (C_p \cos \theta)_i] (\theta_{i+1} - \theta_i) \quad (2.2.4)$$

通常， $N=37$ ， $\Delta\theta = \theta_{i+1} - \theta_i = 5^\circ$ ，但也可以不受此限制，实验者可以自己选定  $N$  和  $\Delta\theta$ 。

本实验用压力传感器测量压差。图 2.2.2a 是本实验使用的压力传感器的外形图。此压力传感器属于压阻型。承压元件是一块单晶硅膜片。膜片上台阶有 4 个应变电阻丝（是用集成电路工艺的扩散法制成的）。膜片受压面发生变形时，电阻丝也随之变形，电阻值发生改变。电阻的变化用电桥测量，电桥的输出电压  $E$  与膜片上、下表面的压强差  $\Delta p$  成线性关系。2.1 已经测出这种线性关系，已知电压  $E$  就容易求得压差  $\Delta p$ 。

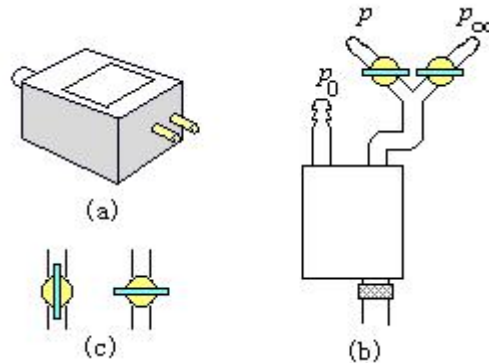


图 2.2.2 cy2000 压力传感器

压力传感器的输出电压  $E$  由数据采集系统自动读取。本实验使用 PCI7422 型 12 位 32 路 A/D 转换板卡。A/D 转换器采用高性能转换芯片 AD1674，地址译码电路采用 GAL 芯片，板卡工作时，能按 PCI 协议自动分配基地址。A/D 转换时间为  $10\mu\text{s}$ 。（100kHz）。

压力传感器有两个接口，一个接高压（H），另一个接低压（L）。在本实验中，总压  $p_0$  最高，因此将其引至高压接口，压力传感器的低压接口上连接一个三通（见图 2.2.2b），开关可以轮流切换至  $p_\infty$  或  $p$  的接口。图 2.2.2c 表示切换的方法，当阀门把手与气管轴线同向时，阀门开启。当阀门把手与气管轴成垂直时，阀门关闭。压力传感器在稳压直流电源下工作。本装置使用一种袖珍型稳压电源。

测量压差  $p_0 - p_\infty$  时，需关闭  $p$  管即可。测量时，可先测量  $p_0 - p$ （开通  $p$  管，关闭  $p_\infty$  管），再测  $p_0 - p_\infty$ （开通  $p_\infty$  管，关闭  $p$  管）。系统根据算式  $p - p_\infty = (p_0 - p_\infty) - (p_0 - p)$ ，就可得到式 (2.2.1) 的值。

### 2.2.3 实验步骤

1. 启动数据采集系统，将界面转到“圆柱表面压强系数测量”。
2. 填写实验常数，其中，气压的默认值是 760mmHg，如果有气压表，请将实测气压值填入。通道号的默认值是 1。请检查压力的传感器的电压是否输入 A/D 板的 1 通道，如有改变，请填写实际使用的通道号。
3. 检查压力传感器是否通电。如已通电，稳压电源的工作指示灯发亮。
4. 将测点的圆角度调至 0，点击“测量”按钮，按照提示操作，完成第 1 个测点的测量。
5. 改变测点的角度，进行新测点的测量。

本实验要测量圆柱表面的压强分布，并计算阻力系数，这要求第 1 个测点的角度为  $0^\circ$ ，最后一个测点的角度为  $180^\circ$ ，在  $0^\circ - 180^\circ$  之间布设若干个测点，通常，每隔  $5^\circ$  布置一个测点，但也可不受此限制，任意布置测点角度。不过， $0^\circ - 90^\circ$  之间的压强变化比较大，宜多布置测点。总测点数不应少于 30。另外，角度应从小变大，不能忽大忽小。

6. 测量结束后，将界面转到下页。点击“画实验点”、“绘理论曲线”，则系统自动将实验值标在  $C_p-\theta$  关系图中，同时给出无粘绕流时圆柱表面的压强系数  $C_p=1-4\sin^2\theta$  的理论曲线，点击“计算阻力系数”，系统将算出气流速度，雷诺数，圆柱的阻力系数。

#### 2.2.4 注意事项

1. 本实验使用多种电气元件，实验时应小心操作，防止触电，不要随意拨动电子设备的开关，不要随意更改电子元件的接线。

2. 实验段的气流速度一般地  $V_\infty=10m/s-20m/s$ ，因此  $p_0-p_\infty=60Pa-250Pa$ 。请检查数据

表第 3 列  $p_0-p_\infty$  的实测值是否在此范围中。另外， $\theta=0^\circ$  的测点的  $C_p$  应读接近 1。根据这两项判断系统是否正常工作。

#### 2.2.5 数据表、实验曲线、误差分析

图 2.2.3 是实验数据，图 2.2.4 是实验曲线的界面。从理论上说， $\theta=0^\circ$  的测点的压强系数  $C_p$  应为 1。但实测值仅为 0.914。一般来说，在大雷诺流动时， $\theta>90^\circ$  的测点的  $C_p$  值小于 -1.2，而图中显示的  $C_p$  比 -1 小，实验值偏大，引起误差的原因，可能是测点压强 P 的接口不好，导致漏气，这时，应试检查软（胶）管接口是否漏气。



图 2.2.3 圆柱表面压强分布实验数据表界面

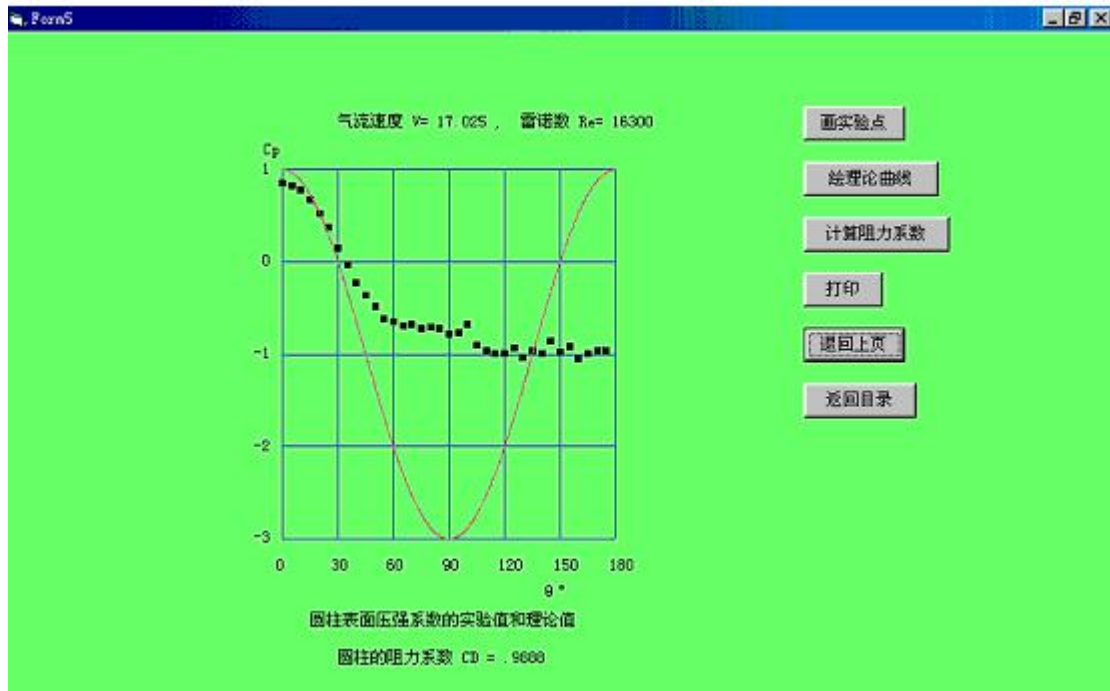


图 2.3.4 圆柱体表面压强系数实验曲线

## 二、圆柱体尾迹速度分布测量

### 2.6.1 实验目的

测量圆柱体尾迹区的速度分布，绘制速度分布图。

### 2.6.2 实验装置

本实验在风洞实验段上进行。热线探杆固定在座标架上，此座标架可沿滑槽作水平移动。此外，热线探杆的支座可以沿竖直标尺上、下移动，从而保证热线探头可移动至任何测量位置。

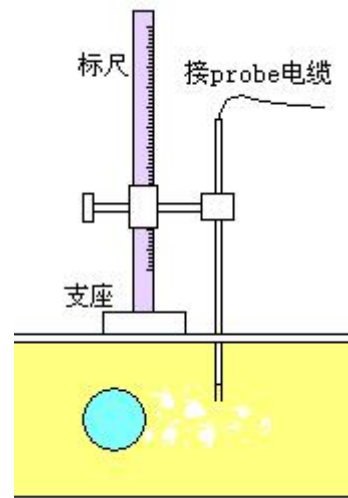
利用热线风速仪 1050A 测量气流的速度。热线风速仪的输出电压  $E$  由 PCI7422 型 A/D 板进行数据采集，并根据 King 公式 (2.4.1) 将电压换算成速度。测量时，热线风速仪利用两条屏蔽电缆与外界外换信息，其中，一条电缆分别连接热线探头和热线风速仪控制面板的“PROBE”插孔，另一条电缆则连接 A/D 板的指定通道和热线风速仪控制面板的“Bridge Output”插孔。

### 2.6.3 实验步骤

1. 将热线探头的座标架移到圆柱体下游的待测断面上，上、下移动探杆，使探头与圆柱轴线同高。记下支座在竖直标尺上的起始读数，当支座上、下移动到新的位置时，

图 2.6.1 圆柱尾流测量

其竖直标尺读数减去起始读数的就是测点的  $y$  坐标值。



2. 在  $y=0\sim 30\text{mm}$  的范围内设置若干测点，逐点测量气流速度，测点间距  $\Delta y \approx 1\sim 5\text{mm}$ ，速度变化大的地方，间距可小一些。

3. 启动热线风速仪

4. 将探头移动到指定位置之后，点击界面中的“测量”按钮，系统就会自动测出速度，并填入表格。

5. 测量结束后，点击“画图”，系统就会画出圆柱体尾流区的速度分布。

#### 2.6.4 数据表

图 2.6.2 表示测量结果。可以看出，近尾区的速度比较小，而且分布比较均匀。在圆柱体的影响边缘区域，速度增长很快，从  $v=10\text{m/s}$  增加到  $25\text{m/s}$ 。



图 2.6.2 圆柱尾流速度分布数据界面