

《空气动力学实验》

实验 A2

风洞实验段风速测量

班 级 _____

姓 名 _____

实验日期 _____

指导教师 _____

20**年*月

目录

1 目的:	2
2 设备介绍.....	2
3 原理:	3
4 准备工作.....	4
5 实验过程:	8
6 典型实验数据	9
附录 A: 变频器设置方法.....	12
附录 B: 软件操作方法.....	13
附录 C Matlab 处理程序及结果	16
附录 E 数据表格:.....	18

1 目的:

- a. 学习低速风洞基本工作原理;
- b. 学习使用压强传感器测量风洞实验段速度;

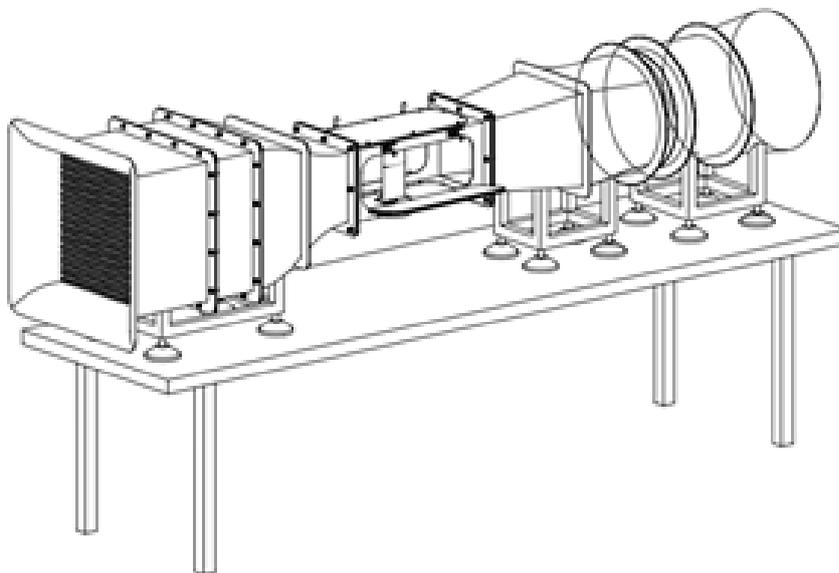


图 1 航华 WT03 风洞结构示意图

2 设备介绍

本次实验使用的主要设备包括:

- a. WT03 实验风洞

航华 WT03 风洞是专门为空气动力学、流体力学实验课程设计的小型桌面风洞。风洞为直流闭口式（埃菲尔式）。入口设钟型收口、整流蜂窝、两层整流网（见图 1）。收缩段收缩面积比 4: 1。实验段两侧壁可开启，方便使用。WT03 风洞湍流度低、稳定性好，不仅可以满足低速空气动力学、流体力学教学需求，可用于圆柱扰流、背向台阶、烟线流场显示、PIV 流场测量、翼型升阻力测量、飞行器模型动稳定测试等试验。

- b. DAQ16 数据采集仪

航华 DAQ16 数据采集仪把传感器输出的电压信号转换成计算机可记录的数字信号（见图 2）。该系列数采仪集高精度（16 位测量精度）、高采样频率（250kS/s）、良好可扩展性（支持外部触发，可实现多个采集仪同步测量）等特点于一身。支持多种编程软件（Labview, Matlab, Python, VB 等），可与航华系列仪器形成可靠搭配。DAQ 系列采集设备内置高精度压强传感器（ $\pm 2.1\text{kPa}$ 量程，精度 $\pm 2.0\text{Pa}$ ），可直接配合航华 WT 系列风洞或毕托管测量

风速。



图 2 航华 DAQ16 数采仪照片

3 原理：

a. 伯努利方程

本次实验将通过测量风洞收缩段前后压差来确定实验段内流速（见图 3）。WT3 风洞收缩段前后侧壁各设有一个测压孔。风洞收缩段前后收缩面积比 4:1。假设收缩段前后速度均匀分布，根据连续性方程，

$$U_1 A_1 = U_2 A_2$$

$$\frac{A_1}{A_2} = 4$$

可得

$$\frac{U_2}{U_1} = 4$$

根据伯努利方程，

$$\frac{\rho U_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho U_2^2}{2} + P_2$$

收缩段之前静压为 P_1 ，实验段静压为 P_2 ，则实验段内速度 U_2 为

$$U_2 = \sqrt{\frac{32\Delta P}{15\rho}}$$

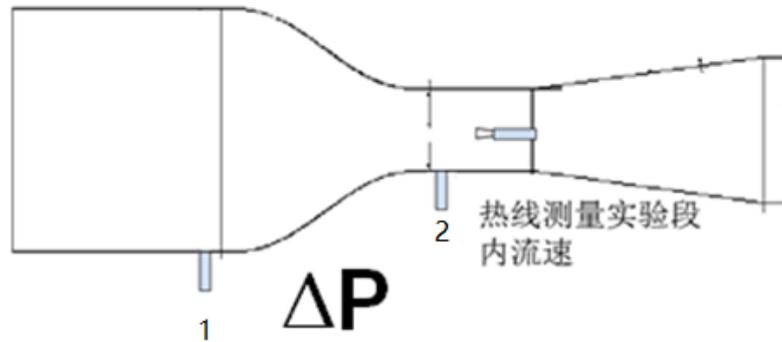


图 3 风洞收缩段示意图，收缩段上游压强 P_1 ，下游压强 P_2 ， $P=P_1-P_2$ ， P_1 需接 H 端口， P_2 需接 L 端口

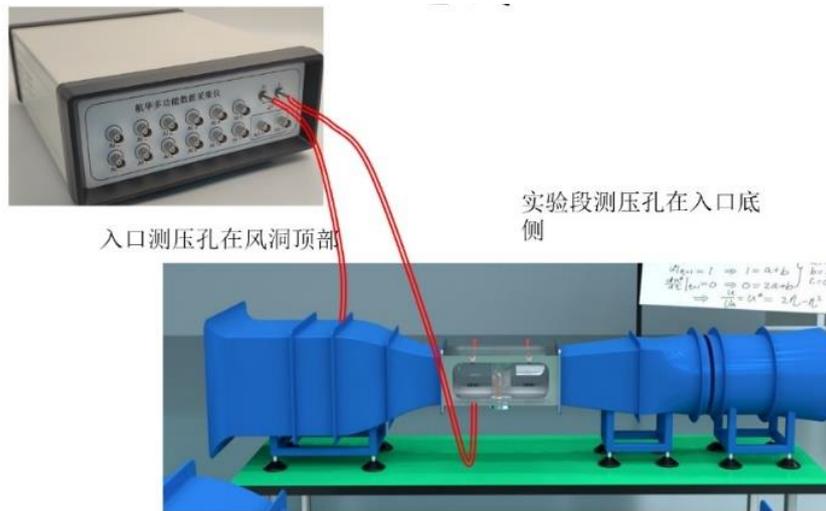


图 4 DAQ16 数采仪测压孔与风洞收缩段前后测压点连接方式。H 插口接上游测压孔，L 接下游测压孔。

4 准备工作

准备工作包括以下几个关键步骤：

1. 测压管

将压力传感器两端连接在风洞收缩段两侧的测压管上；收缩段前的测压管为高压，连接在压力传感器（H+）接口，收缩段后的测压管为低压，接（L-）接口（图 5）；



图 5 DAQ16 数采仪内置压强传感器连接图片

2. 电源

连接风洞变频器电源；连接 DAQ16 数采仪电源线，打开数采仪开关。

3. 数据线

连接 DAQ16 数采仪数据线 (TypeC-USB) 到电脑 USB 插口 (图 6)。连接后，检查电脑“设备管理器”下是否正确出现“NI Data Acquisition Devices”。点击“NI Data Acquisition Devices”后，是否正确出现“USB-6210” (见图 7)



图 6 DAQ16 数采仪背板及 1 数据线、2 温度传感器、3 天平插口照片



图 7 正确安装 DAQmx 驱动后，DAQ16 数采仪设备显示在设备管理器中

4. 温度传感器

将航华 TS02 温度传感器连入 DAQ16 数采仪背板温度传感器插孔（图 6）

5. 天平数据线

使用数据线连接 FB02 天平与 DAQ16 数采仪背板天平插孔 (图 6)

6. 设置变频器

参照附录 A 设置变频器。其中 P003 参数为 2

7. 运行计算机软件

参照附录 B 运行风洞控制软件。

5 实验过程：

1. 记录风洞收缩段前后尺寸、实验段尺寸；
收缩段前尺寸：50cm × 50cm
收缩段后尺寸：25cm × 25cm
2. 运行风洞控制软件
3. 在计算机软件上为传感器归零；
4. 软件设置采集组数至 10（或者根据需求设置其他数字）；
5. 设置风洞输出功率至 0.1（运行功率为最大功率的 10%），点击“运行风洞”按钮，风洞开始运行；
6. 当风速稳定后，点击“开始采集”，软件采集 10 组数据（包括收缩段前后压差、升、阻力，本次实验并未使用模型，所以升阻力约为 0），并逐一输出均值；
7. 根据收缩段面积比（本次实验为 4:1）和收缩段前后压差，利用伯努利方程计算流速；
8. 设置风洞输出功率至 0.2，重复 5-7 步。
9. 逐步增加功率至 0.9，重复 5-7 步
10. 计算每步采集数据的均值和标准差，绘制风洞输出功率百分数 vs 风速曲线。

6 典型实验数据

风机输出 0.1;

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1	1.589	1.697	28.084				
2	1.581	1.692	28.088				
3	1.588	1.696	28.082				
4	1.579	1.691	28.082				
5	1.577	1.691	28.082				
6	1.569	1.686	28.086				
7	1.58	1.692	28.084				
8	1.587	1.696	28.085				
9	1.585	1.695	28.085				
10	1.575	1.689	28.084				

风机输出 0.3

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1	18.62	5.809	28.116				
2	18.616	5.808	28.117				
3	18.736	5.827	28.114				
4	18.723	5.825	28.114				
5	18.888	5.851	28.115				
6	18.673	5.817	28.116				
7	18.715	5.824	28.115				

8	18.706	5.822	28.117				
9	18.706	5.822	28.116				
10	18.556	5.799	28.117				

风机输出 0.5

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1	54.941	9.977	28.05				
2	55.253	10.006	28.051				
3	55.524	10.03	28.05				
4	55.563	10.034	28.053				
5	55.549	10.032	28.055				
6	55.847	10.059	28.051				
7	54.827	9.967	28.05				
8	56.049	10.077	28.052				
9	55.31	10.011	28.052				
10	55.721	10.048	28.052				

风机输出 0.7

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1	112.077	14.252	28.119				
2	112.325	14.268	28.118				
3	112.132	14.256	28.122				
4	111.955	14.244	28.125				
5	111.224	14.198	28.121				
6	110.526	14.153	28.119				
7	109.346	14.077	28.118				
8	111.148	14.193	28.123				

9	112.054	14.251	28.122				
10	111.351	14.206	28.148				

风机输出 0.9

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1	177.156	17.92	28.184				
2	178.899	18.008	28.184				
3	180.2	18.073	28.184				
4	177.651	17.945	28.184				
5	175.454	17.834	28.184				
6	175.213	17.822	28.186				
7	177.293	17.926	28.154				
8	178.462	17.985	28.155				
9	176.282	17.875	28.153				
10	178.576	17.991	28.155				

附录 A：变频器设置方法

将插头插入 220V 插座内。风机最大电流 10A，插座需要接地，以免漏电。推荐使用带开关插座。

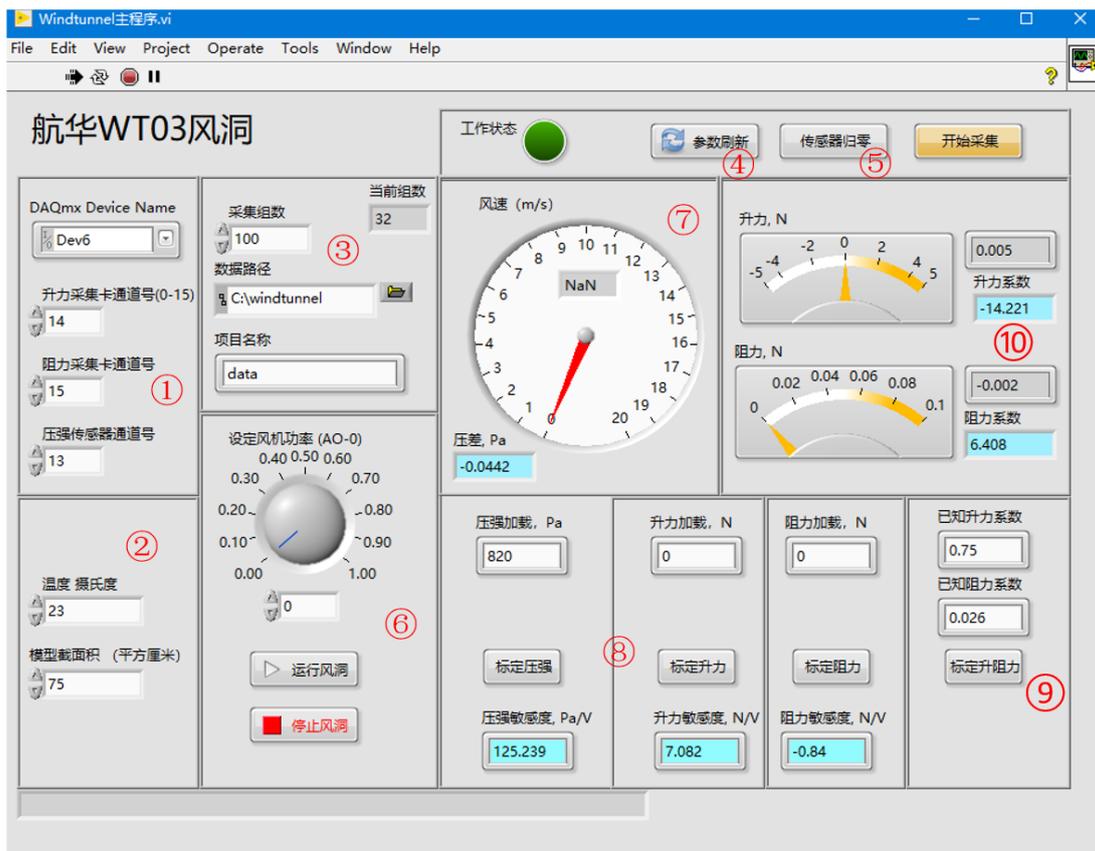
	变频器工作状态下，长按PROG键（左上）进入设置状态，P001闪动
	使用上、下键，调至P-003参数，按Enter进入设置该值
	调节P-003的值至002，按Enter输入。变频器进入“自动”模式
	使用上下键调节P-003的值至001。变频器进入手动模式
	长按PROG键，变频器从设置状态返回工作状态
	按Run键，左下角绿灯闪烁。系统已经准备好。

图 8 变频器设定流程

附录 B：软件操作方法

电脑软件可以操作航华 DAQ16 数采仪。使用方法如下。

1. 首先使用 USB 数据电缆连接航华 DAQ16 数采仪到电脑
2. 使用测压管连接风洞收缩段前后测压孔到 DAQ16 数采仪压强传感器口：H 接收缩段入口，L 接实验段入口



完成上述连接后，运行桌面 WindTunnel 软件，进入上图界面，界面内各个功能区如下

1. 设置数据采集卡参数，点击‘Device Name’选取卡的名称。比如“Dev1”。如果有多个采集卡，请拔掉 DAQ16 数采仪，观察那个名称消失，以确定 DAQ16 对应的设备号。选择争取设备号以后，填入压强传感器、升、阻力天平对应的采集通道好，分别是 13,14,15；
2. 填入当前室温与模型参考面积。比如，圆柱实验请输入迎风面积（直径*长度），球体输入 $(3.14 * R^2)$ ，翼型实验输入翼面积（展长*弦长）
3. 输入采集数据参数，包括：采样组数（每组数据将独立存储成一个数据文档）；数据文件存储的位置；项目名称（数据文档名合适为：项目名称.txt）
4. 输入参数以后，点击“刷新”，参数将存盘。当程序再次执行后，参数将自动被读取。每次修改

参数后，都需要刷新，这样可保证程序使用正确参数运行

5. 点击“归零”按钮为压强传感器与天平归零。注意，归零一定要在没有风速的情况下，归零对以上传感器非常重要（可以不经常标定，但一定要经常归零）
6. 设定风洞功率。设定风速有两种方式：直接调节变频器旋钮，或通过调节此区域内的电子旋钮设定输出。两种模式需要在变频器上进行设定：如果设定为手动模式，仅接受手动调节。反之亦然。当设定为电脑调节以后，需将变频器输入端与 DAQ16 数采前面板的模拟输出 AO-0 端口相连。用户调节旋钮（数字对应 0-100%输出功率）后点击“风洞运行”按钮。AO-0 端口发送 0-5V 控制信号给变频器，驱动变频器在不同转速下工作
7. 压强传感器测量的收缩段前后压差及对应的实验段速度显示在此区域
8. 在此区域内可对压强传感器及升阻力天平进行标定。首先对相应传感器加载已知大小的载荷，点击相应“标定”按钮以后，系统提示输入管理员口令（口令为数字“999”）。输入后，系统读取传感器输出电压，并计算相应敏感度。对升阻力天平的标定可采用两种方法：1 使用砝码、张线直接加载力，或 2 使用一个标准的对称翼型，并设定迎角（利用手册给出的相应升阻力）直接对传感器进行标定。
9. 点击右上角“开始测量”，进行测量。“工作状态”显示灯亮，3 区“当前组数”显示当前的组数，当前组数等于设定的“采样组数”时，系统停止采集工作。“工作状态”显示灯关闭。

另外，左上角  分别对应着“运行”，“连续运行”，“停止”，“暂停”操作

数据储存

*data - 记事本							
文件(F)	编辑(E)	格式(O)	查看(V)	帮助(H)			
0.439	0.000	0.857	0.000	-2.066	3.300	-0.022	0.036
0.450	0.000	0.868	0.000	-1.981	3.220	-0.022	0.036
0.448	0.000	0.866	0.000	-2.005	3.233	-0.022	0.036
0.447	0.000	0.865	0.000	-2.024	3.243	-0.022	0.035
0.445	0.000	0.863	0.000	-2.038	3.256	-0.022	0.036
0.446	0.000	0.864	0.000	-2.035	3.252	-0.022	0.036

每组数据的统计结果被记录在 3 区指定的目录及文件名（项目名）。每行代表一个数据组的结果，每行 8 个数字，分别代表

1. 收缩段前后压差， Pa
2. Re, 雷诺数
3. 风速, m/s
4. 温度, °C

5. 升力系数
6. 阻力系数
7. 升力, N
8. 阻力, N

如果用户不修改“项目名”, 数据会持续添加进该项目名对应的数据文件。

附录 C Matlab 处理程序及结果

```
close all
power_output_percent=[.1:.1:.9];

for i=1:9
    Pout=power_output_percent(i);
    data=load(['data_' num2str(i) '.txt']);
    mean_val=mean(data);
    %Delta P; Re; U; T; Cl; Cd; L; D
    std_val=std(data);
    dP(i)=mean_val(1);
    std_dP(i)=std_val(1);
    U(i)=mean_val(3);
    std_U(i)=std_val(3);
    Re(i)=mean_val(2);
    T(i)=mean_val(4);
end

figure, errorbar(power_output_percent, dP, std_dP*2, 'o-');
xlabel('Power output percentage')
ylabel('Pressure difference before after contraction, Pa')
figure, errorbar(power_output_percent, U, std_U*2, 'o-');
xlabel('Power output percentage')
ylabel('Flow velocity in test section, m/s')
```

Matlab 处理结果

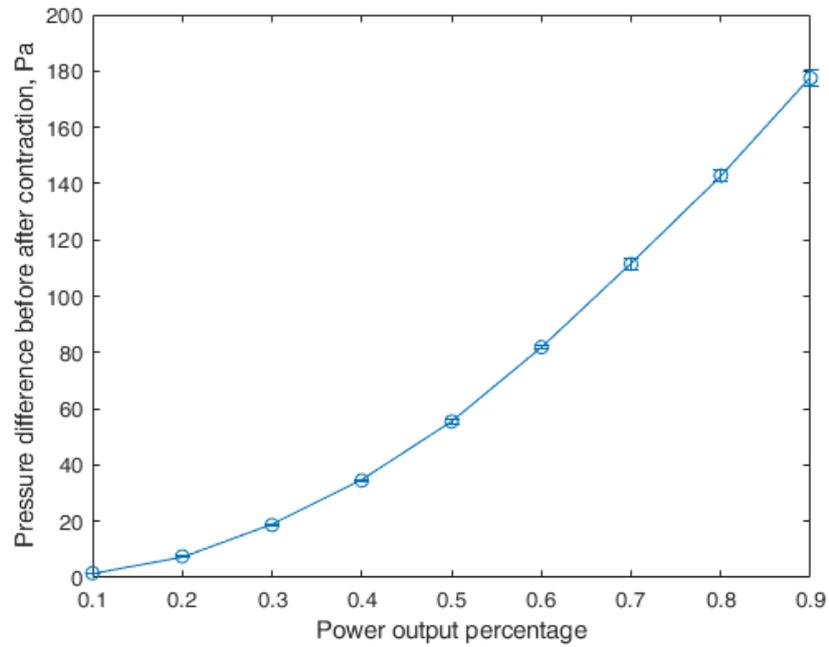


图 9 收缩段前后压差随输出功率变化图，误差棒大小代表 10 次测量得到的标准差的 2 倍

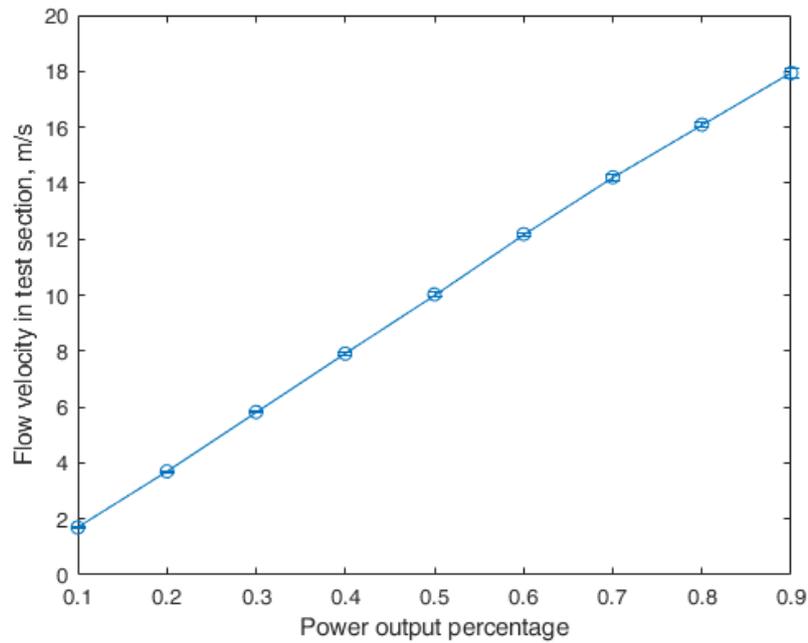


图 10 实验段流速随输出功率变化图

附录 E 数据表格:

风机输出: 0.1

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

风机输出: 0.3

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

风机输出: 0.5

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

风机输出: 0.7

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

风机输出: 0.9

	压差, Pa	风速, m/s	温度, C				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							