

新系统目前还存在问题，请同学以纸质课表为准，循环实验。

实验要求：

1. 实验顺序

超声系列实验分为两个实验内容：“声光效应与超声光栅”以及“超声定位和形貌成像”。

按照自己的组内编号，在下面表格中查找自己两次实验课要做的实验。例如：组内编号 14 号的同学，第一次课做“空气阻尼”实验，第二次课做“声光效应与超声光栅”实验，“超声定位和形貌成像”实验 14 号同学不做。

组内编号 7 号的同学，实验轮转顺序与其他同学不同，请特别注意。

组内编号	第一周实验		第二周实验	
	实验名称	实验台号	实验名称	实验台号
1	声光效应与超声光栅	A 1	超声定位和形貌成像	B 1
2	声光效应与超声光栅	A 2	超声定位和形貌成像	B 2
3	声光效应与超声光栅	A 3	超声定位和形貌成像	B 3
4	声光效应与超声光栅	A 4	超声定位和形貌成像	B 4
5	声光效应与超声光栅	A 5	超声定位和形貌成像	B 5
6	声光效应与超声光栅	A 6	超声定位和形貌成像	B 6
7	声光效应与超声光栅	A 7	空气阻尼	C 1
8	超声定位和形貌成像	B 1	空气阻尼	C 2
9	超声定位和形貌成像	B 2	空气阻尼	C 3
10	超声定位和形貌成像	B 3	空气阻尼	C 4
11	超声定位和形貌成像	B 4	空气阻尼	C 5
12	超声定位和形貌成像	B 5	空气阻尼	C 6
13	超声定位和形貌成像	B 6	空气阻尼	C 7
14	空气阻尼	C 1	声光效应与超声光栅	A 1
15	空气阻尼	C 2	声光效应与超声光栅	A 2
16	空气阻尼	C 3	声光效应与超声光栅	A 3
17	空气阻尼	C 4	声光效应与超声光栅	A 4
18	空气阻尼	C 5	声光效应与超声光栅	A 5
19	空气阻尼	C 6	声光效应与超声光栅	A 6
20	空气阻尼	C 7	声光效应与超声光栅	A 7

2. 实验预习

第一次上课前**预习两个实验**（不需写预习报告），上课时，在课堂上书面作答预习题目，分数 10 分。

3. 实验操作

- (1) 讲课结束前禁止打开、调节实验仪器；
- (2) 每个实验操作分 30 分，操作分数总分 60 分。

4. 实验报告

自行选择所做两个实验中的一个，处理实验数据，按照论文格式完成实验报告，分数 30 分。

5. 总分=预习分数+实验 1 操作分数+实验 2 操作分数+报告分数

空气阻尼测试

实验目的

1. 研究风阻产生的原理，风阻与物体形状和风速的关系。
2. 掌握测定相对阻力系数的方法。
3. 了解研究气体压缩箱内空气层流的分布状况和风洞出风口风速随距离变化规律的实验方法。

实验原理

当一个物体与空气的气流发生相对运动时，气流会对物体产生一种阻力，这种气流对物体的阻力可简称为流阻（或风阻）。对于在迎着气流方向上同样的横截面情况下，不同的形状的物体所受流阻是不相同的。这种不同形状物体所受流阻的系数就是本实验要研究的主要内容。在工程上，通过实验来研究不同形状物体的阻力系数，对建筑设计、航空和汽车设计、高速列车设计等与气流速度密切相关的行业都有很现实的意义。

1. 空气流阻产生的原理及测量

研究空气流阻产生的原理可先用一个简化模型来分析：设图 1 中有一个横截面积为 A 的平板在气流中以相对速度 v 运动，则在 Δt 时间内，在平板前方有 $Av\Delta t$ 体积的流体被排开。

（见图 1 所示），这些流体得到的动能为：

$$\Delta E = \frac{1}{2}(\Delta m)v^2 \quad (1)$$

其中 $\Delta m = \rho Av\Delta t$ ， ρ 为流体的密度。根据动能原理，被排开流体的动能可以认为是平板施加于流体的力对流体做功的结果。所做功为：

$$\Delta W = Fv\Delta t \quad (2)$$

由 $\Delta W = \Delta E$ 得到：

$$F = \frac{1}{2}\rho Av^2 \quad (3)$$



图1 平板运动阻力

一般来说，空气的流阻与物体的形状和表面光滑程度有关，流阻的符号若用 R 表示，则流阻可写为：

$$R = C\rho Av^2 \propto v^2 \quad (4)$$

(4) 式中： C 称为(绝对)阻力系数。对于不同形状的物体，由于在排开流体时的状况不同，阻力系数 C 是不同的，见图 2 所示，图中以同样迎风截面积的三种物体为例，(a) 为平板的情况，在迎着气流时不但正前方会受到气流的压力，在平板的后方，由于气流的局部真空，还会产生涡流，这也会对平板形成向后方的拉力，所以平板在气流中所受阻力最大。(b) 为单圆锥的情况，虽然迎风面的气流压力被圆锥的斜面在较大程度地化解，但圆锥背风的一面仍然存在气流的涡旋，还会有明显的风阻。(c) 为水滴的流线体情况，从图中可以看见由于流线体后面尾锥的存在，使前两种情况中的涡流情况基本消除了，故流线形物体在气流中的流阻最小。其它形状的物体的流阻情况也可照此分析。

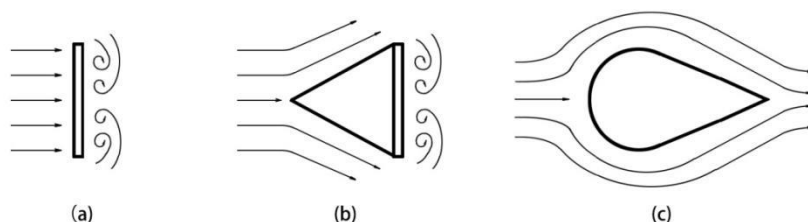


图2 不同形状物体的流阻状况

由于平板测试物的风阻在各种形状的物体中最大，故在本实验中我们取平板测试物作为标准，将其它测试物与平板进行比较。为便于研究，所测量的物体都采用轴对称的形状，且各种不同形状物体的横截面积都相等。按照上面公式(4)所示 $R = C\rho Av^2 \propto v^2$ ，物体所受阻力与气流速度 v 的平方成正比，所以，在测量中要选择风速 v 相同的情况下比较才有意义。

为了测量绝对阻力系数，实验前先要对力传感器显示值进行校准：关闭风机，在力传感器显示为零的情况下，轻轻地把一个 50 g 的砝码放在力传感器端部，正确的显示应该为 490 mN 左右（若有偏差可通过仪器面板上的校准孔调节或记录下产生偏差的百分比系数），这样力传感器就算校准好了。然后拿下砝码，安置上待测量的物体，按一下“清零”按键，使力传感器显示归零。（注：实验仪器均已经校准完成，实验过程中无需进行校准。）

打开风机，调整风速在某一合适的位置并保持稳定（可根据 U 型液位差计

观察)，测量在此状况下该物体受到的风阻（须多测几次取平均）。根据公式（4）就可求得该物体在此风速情况下的绝对阻力系数。

测得了各种形状物体的绝对阻力系数后，再将各种测试物在相同风速情况下所受的风阻与平板测试物进行比较，求出它们相对于平板受力的百分比，这就是所谓的相对阻力系数。在实际的工程设计运用中，测量物体的相对阻力系数比绝对阻力系数更有意义。

2. 实验仪原理

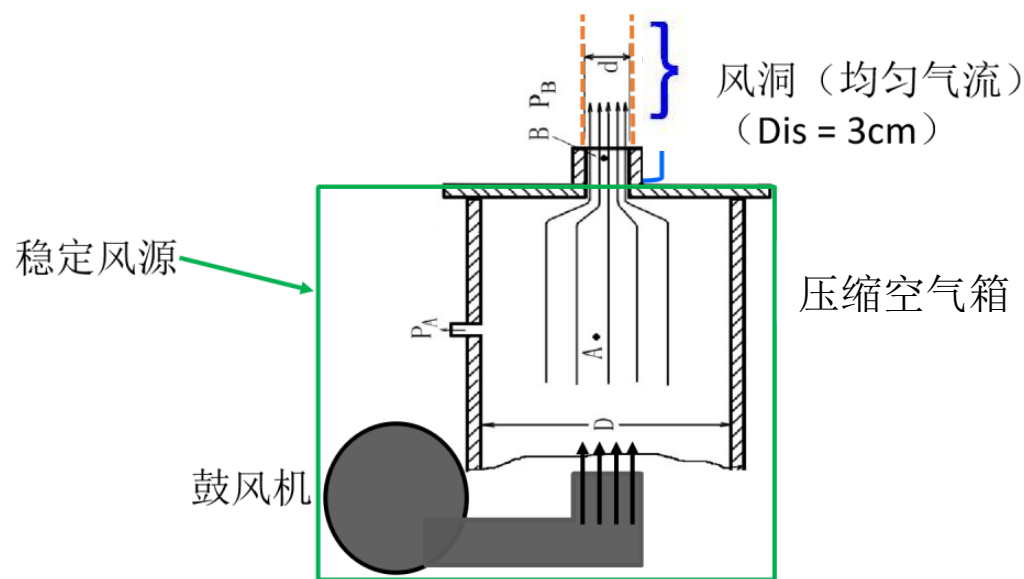


图 3 实验装置图

实验装置如图 3 所示。由鼓风机产生的气流经由内喷头喷出，进入中间的圆筒形“压缩空气箱”。当鼓风机转速一定时，压缩箱内会形成相对稳定的气压气流分布，此时从外喷头喷出的气流也相对均匀稳定，总的来看，整个鼓风机和压缩空气箱起到一个产生稳定风源的作用。由外喷头向上延伸的圆柱形区域（图中虚线所示）即为模拟的超小型“风洞”，本实验中风阻的测定就在该区域内完成。

关于外喷头风速的测量：在实验仪的右侧有一个 U 型水柱压差管，压差管左端连通压缩箱内 A 点，右侧连通大气，该压差与外喷头流速满足一定的关系，由本套实验仪器实测得到压差一流速关系表（见附表 1）。实验中直接读出 U 型水柱压差管示数，查表可知流速，不在表中的中间读数可采用线性内插法计算。

附表 1: 压差流速对照表 (T=300K 时)

序号	水柱高度差/mm	压差/Pa	流速/m/s
1	2	20	5.32
2	4	40	7.53
3	6	60	9.22
4	8	80	10.64
5	10	100	11.90
6	12	120	13.04
7	14	140	14.08
8	16	160	15.05
9	18	180	15.97
10	20	200	16.83
11	25	250	18.82
12	30	300	20.61
13	35	350	22.26
14	45	450	25.24
15	50	500	26.61
16	55	550	27.91
17	60	600	29.15
18	65	650	30.34
19	70	700	31.48
20	75	750	32.59
21	80	800	33.66
22	85	850	34.69
23	90	900	35.70
24	95	950	36.68
25	100	1000	37.63
26	120	1200	41.22
27	140	1400	44.53
28	150	1500	46.09

3. 气体压缩箱圆筒内气压气流的分布状况研究

在本实验中，气压和气流在大圆筒中的分布情况是怎样的？

我们可以在大圆筒上设置多个探测孔（如图 4 所示），用手持的数字压强探测仪的受体头伸入到大圆筒中间不同的高度和不同的半径处测量。我们可

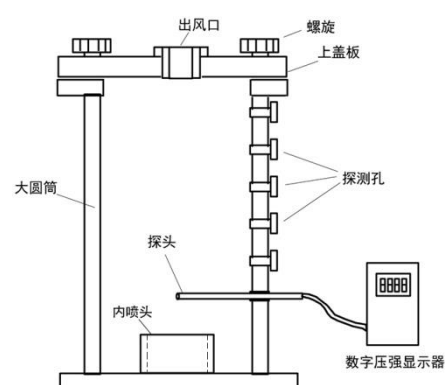


图4 探测孔示意图

以测得，在大圆筒不同的高度、相同的半径处，气体的压强变化不大（一般不超过 1%），而在同一高度、不同半径处，气体的压强呈中轴线附近低、边缘高的趋势。不过这种变化的范围也不超过 2%。由于圆筒是压缩空体箱，故在实验中观察到的读数桶内气压高于桶外（读数为正），风从内喷头喷出后遇到外碰头的筒壁会受到阻力作用“回弹”，所以会在桶内产生稳定的气压分布，可以通过读数自行探究压缩箱内气压分布规律。

为了进一步了解大圆筒内气流的分布形态，可以把图 3 中风洞的上盖板螺旋旋开、打开上盖板，在大圆筒内放置一个粘有细棉丝的“示形架”，然后再把上盖板旋好。风机打开后，可以观察大圆筒内示形架上的细棉丝被风吹起后的走向。

4. 出风口气流随距离的变化规律研究

以下考虑实际实验设备的出风口风速变化：

高速气流从出风口喷出时，随着外界空间的扩大，气流柱也会迅速扩大。而根据气体的连续性原理：**气流的横截面积与气流速度成反比**。所以根据图 5 所示的出风口气流分布示意图，随着平板测试物离风洞出风口距离的增大，气流的横截面积随距离的平方增大，因而，气流因向四周扩散，其流速应随距离的平方递减。另一方面，物体在空气中的风阻与流速的平方成正比。所以，综合的结果是，平板测试物在出风口上部的风阻在一般情况下应与距离成负相关关系。这点可通过实验来验证。

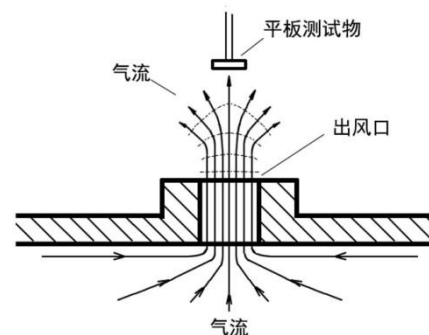


图 5 出风口气流分布

若图三中虚线的“模拟风洞”部分有实际物体对应，则须考虑风洞壁的粘滞阻力作用，另作计算。

实验仪器

本实验的仪器照片如图 6 所示。在图 6 中，左边为一个气流向上的小型风洞，右边的仪器面板上有一个风机调速器，可以根据实验的需要调节外喷头处的风速。在外喷头上方有一个传感器支架，支架上安装有悬臂梁力传感器。将测试物拧紧在悬臂梁力传感器上并对准风口，就可测试该测试物在风洞口所受到的风阻。当风速为零时，按一下仪器面板上的“清零”按键，可以使初始的受力指示为零。在照片左边大圆筒（即压缩空气箱）的中部有一个压力输出口，通过一根软管把

压力传输到旁边的 U 型水柱压差计中，当大圆筒与外界压差为零时，U 型管中两边水柱的高度差为零。仪器外喷口的风速是可调的，随着风速的提高，测试物所受的风阻不断加大，U 型管中水柱的高度差也会相应地不断加大。根据前面附表 1 中的水柱压差流速表，就可推知气流的风速。仪器共配有六种不同形状的测试物（见图 7），换用不同的测试物后，都须重新按“清零”键进行清零。



图 6 仪器整机

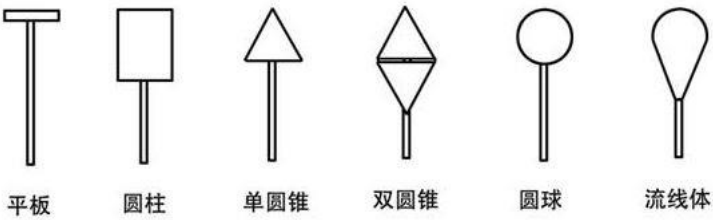


图 7 六种不同测试物

实验步骤和方法

1. 先选择平板测试物，开机后在风机风速为零的情况下，按下仪器面板的“清零”按键，使传感器读数归零。

2. 打开调速器电源，调节模拟“风洞”的风速，在不同风速情况下，通过力传感器测出平板测试物受到的风阻并记录风阻与风速的关系，再根据列表作图进行分析风阻与流速的关系。由于风洞的风速较大，实际测量时测试物的振动较大，使测量读数不够稳定，故须在测量相对稳定时按下“锁定”按键，记录完成后再按一次该按键，仪器可恢复随机测量状态。
3. 依次更换测试物。换用圆柱、单头圆锥、双头圆锥、球型和流线型等测试物，比较在同一风速情况下的风阻。以相同风速下平板测试物的风阻为 100%，分别将其它形状测试物的风阻与其比较，由此得到它们的相对阻力系数。实验中选择低速、中速、高速三种风速分别进行测量。
4. 研究压缩空气箱内气压气流的分布情况。用手持式数字压差计分别测大圆筒上各探测点上不同半径和不同高度处的压强变化情况（见图 8），并且结合放置示形架进行直观观察（图 9）（选做，实验方案自拟）。
5. 研究风洞出风口气体流速随距离的变化规律。（实验方案自拟，要求作图分析）

实验注意事项

1. 每换一个测试物时都须在风速为零的情况下，重新按“清零”键校零。
2. 力传感器比较容易损坏，要避免受到过大的压力和冲击力，以免损坏力传感器。特别是在更换测试物时，动作一定要轻，不能让力传感器受损伤。
3. 在测试前要先将测试物在力传感器上的紧固螺丝旋紧，并适当调整传感器支架让测试物对准风口。
4. 比较各测试物的相对阻力系数时，其最大直径处离出风口的高度要统一以 3cm 左右为好，在做实验时要仔细调整好高度。（见图 10）
5. 实验开始前先要向 U 型管中适当注水，水位高度以 U 型管的一半高度为宜。



图 8 用手持数字压差计测大圆筒内各点的压强变化

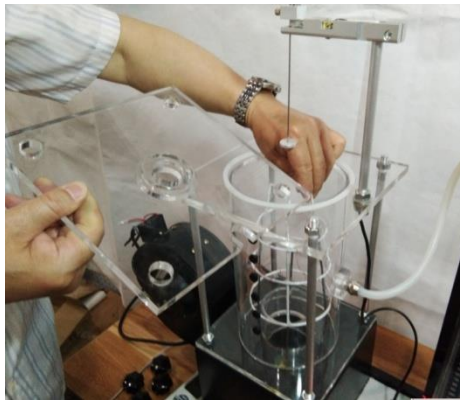


图 9 放置示形架

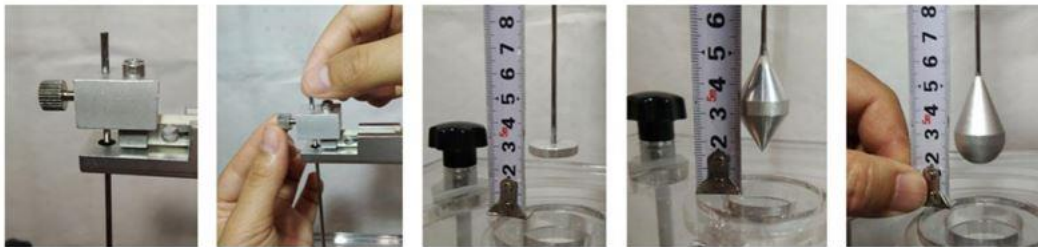


图 10 调节钢丝夹头使各测试物横截面最大处的高度为 3 cm