

风速管测风速

姓名: 强 组别: 第 1 组 时间: 2021.10.9 13: 30-14: 00

摘要: 风速管又名皮托管, 是测量气流速度的常用仪器, 广泛应用于传统飞行器速度和压强测量, 随着科技的发展逐渐被现代电子传感器所取代, 但其基本原理和使用方法值得我们学习。本实验用某种常见的风速管测量了一组气流速度。

实验目的:

- (1) 认识风速管基本结构和掌握其测量原理;
- (2) 学习使用风速管测量气流速度的方法。

实验原理:

在理想、定常、不可压缩且不计重力的流体流动中, 沿流线建立伯努利方程

$$p_0 = p + \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (1-1)$$

由此导出:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_0 - p)} \quad (1-2)$$

因为流体不可压缩, 所以流场中各点密度相同。密度却决于大气压强 p_a 和大气温度 T_a , 按气体状态方程:

$$\rho = \frac{p_a}{287(273 + T_a)} \quad (1-3)$$

由此只要测出流场中某点的总压 p_0 和静压 p , 就可以得到流场中该点的速度。

在用风速管测量时, 由于测量过程和仪器带来的误差, 以及用理想流体近似, 所以要对测得的数据计算流体速度时要进行修正。修正后计算公式为:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho}\delta(p_0 - p)} \quad (1-4)$$

式中 δ 为校正系数, 本实验取 $\delta = 1$ 。

由于本实验使用倾斜角为 30° 的微压计测量总压和静压, 对应读数为 l , 故计算公式为:

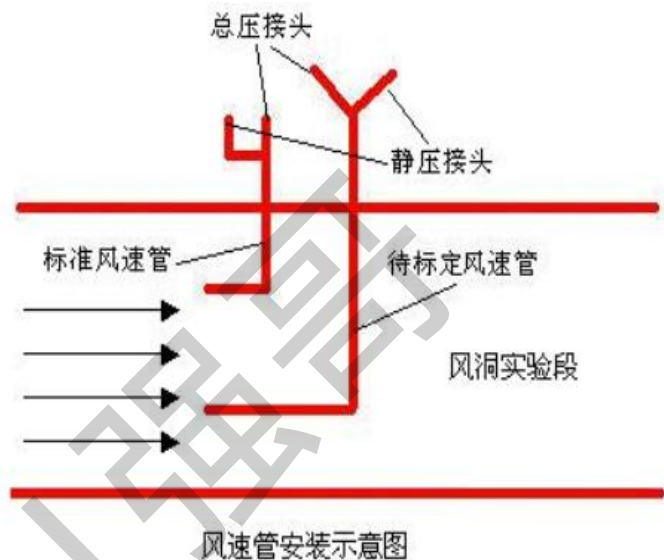
$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot 9.81 \cdot n d} \quad (1-5)$$

其中 9.81 是压力单位转换系数[$1\text{ mmH}_2\text{O} = 9.81\text{ N/m}^2$], n 为微压计读数, d 为相邻两格间距。

实验装置:

低速风洞一座、标准风速管一只、倾斜式微压计 ($k=30^\circ$) 一台。

- (1) 低速风洞收缩比 9: 1, 可产生 1-100 档不同速度气流, 进气口有一个静压孔与微压计 static 连接;
- (2) 标准风速管为一直角弯管, 较短部分顶端有一小孔为总压孔, 离总压孔较远处有一圈静压孔, 较长部分尾端有直的导管接口和弯的导管接口, 分别为总压接口和静压接口;
- (3) 倾斜式微压计固定倾斜角 30° , 上面有一排水柱, 总压和静压分别接在标号 11、12 接口处, 微压计每两个小格间距 4 mm。



实验步骤:

- (1) 按要求连接实验装置, 水平摆放微压计调节初始液面高度, 发现无论怎么调节, 微压计水柱都无法完全相平;
- (2) 待液柱稳定后, 读出 “static”、“11”、“12” 三个液柱初始高度并记录;
- (3) 风洞通电开机, 从 0%开始一档一档的调节风速到 35%, 待液面稳定后读出三个液面高度并记录;
- (4) 调节风速到 40%, 待液面稳定后继续读数并记录;
- (5) 风速增加 5%, 重复 10 次实验步骤 (4);
- (6) 从 80%逐渐慢慢调低风速到 0%再关闭风洞;
- (7) 测量实验室温度和压强;
- (8) 整理实验仪器, 分析实验数据。

实验数据记录:

流速%	0	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	...
“static”	17.50	20.00	21.00	21.50	22.50	23.50	25.50	27.50	30.00	32.00	34.00	...
“11”	17.50	17.25	17.25	17.00	17.00	16.50	16.50	16.50	16.25	16.25	16.25	...
“12”	17.50	20.25	21.50	22.75	24.75	26.50	27.25	28.75	30.50	32.75	34.50	...

表 1: 实验数据记录表

环境压力/pa	1.015×10^5
环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	26.8

表 2：环境压力温度记录

数据处理：

把各个数据静压减去总压得到 n ：

$$n = (l_0 - l) \quad (1-6)$$

通过把当地气压和温度带入式 (1-3) 可得：

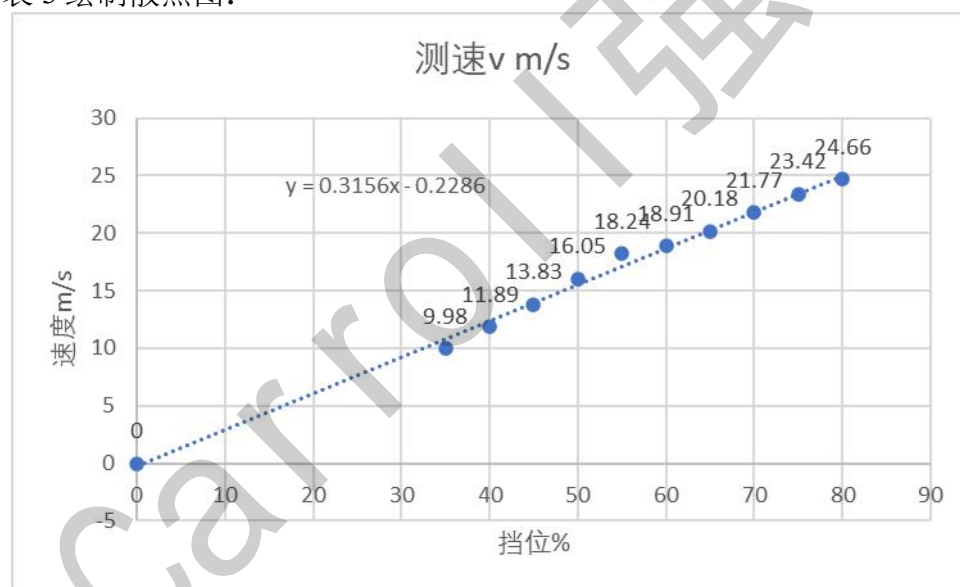
$$\rho = \frac{1.0150 \times 10^5}{287 \times (273 + 26.8)} = 1.180 \text{ kg/m}^3 \quad (1-7)$$

式 (1-6)、(1-7) 带入 (1-5) 中得各个速度。

流速%	0	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	...
n	0	3.00	4.25	5.75	7.75	10.00	10.75	12.25	14.25	16.50	18.25	...
测速 v m/s	0	9.98	11.89	13.83	16.05	18.24	18.91	20.18	21.77	23.42	24.66	...

表 3：速度

根据表 3 绘制散点图：



图表 1：速度挡位图

运用 excel 数据分析得线性拟合曲线：

$$y = 0.3156x - 0.2286 \quad (1-8)$$

分析与结论：

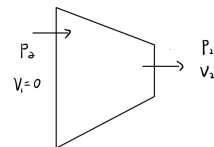
如图表 1 所示，图中给出了测试各时刻的速度并得到拟合曲线，实验数据记录表给出了各个挡位下的风速；由图表可以看出 35%到 55%速度点偏离拟合曲线，60%到 80%较为精确。由式 (1-8) 可以得出挡位增加 1%风速增加约 0.315m/s。风速管假设流体为定常无粘理想气体，通过测量流体总压和静压运用伯努利方程计算出流体速度，仅适用与低流速粗略测量，精确测量需补充修

正系数。

思考与讨论：

(1) 计算用风洞入口静压测风速修正系数 k 。

在风洞颈缩段建立伯努利方程，我们可以认为在颈缩段外面气流速度为 0，压强为 P_a ，风洞入口处压强已由“static”给出，现要得到风洞工作区速度。根据式 (1-1)，我们有：



$$P_a = P_{\text{static}} + 1/2 \rho v_2^2 \quad (1-9)$$

加上修正系数 k ，所以：

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho} k (p_a - p_{\text{static}})} \quad (1-10)$$

则

$$k = \frac{2(p_a - p_{\text{static}})}{v_2^2} \quad (1-11)$$

倾斜角为 30° ，经过单位换算

$$k = \frac{9.81 n d}{v^2}$$

由表 (1) 和表 (3) 可得一组关于 n 与 v 的数据：

n	0	2.5	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.5	14.5	16.5
Vm/s	0	9.98	11.89	13.83	16.05	18.24	18.91	20.18	21.77	23.42	24.66
k		0.985	0.971	0.821	0.762	0.708	0.878	0.964	1.035	1.037	1.065

表 4 修正系数表

整体来看，校正系数 k 在 1 附件，但其分布比较分散。考虑到速度计算的不精确性，我们用拟合曲线系数来计算 k ，记作 k' 。

n	0	2.5	3.5	4	5	6	8	10	12.5	14.5	16.5
Vm/s	0	10.817	12.395	13.973	15.551	17.129	18.707	20.285	21.863	23.441	25.019
K'		0.838	0.894	0.804	0.811	0.802	0.897	0.953	1.026	1.035	1.034

表 5 拟合速度计算 k

易看出，修正速度后表 5 数据与表 4 同样分散，初步预测为风洞入口气压测量误差较大（实验是“static”液柱似乎有气泡），希望后续实验修正。

(2) 风洞档速为什么不从 5% 开始？

气流速度太小微压计液柱变换不大读数不精确，误差严重。

(3) 风洞未开机时为什么微压计各液面不相平？

毛细现象。毛细管中整个液体表面都将变得弯曲，液固分子间的相互作用可扩展到整个液体。

(4) 为什么要用倾斜式微压计?

放大作用, 垂直放置液柱变化较少, 倾斜放置增加液面变换距离, 减小读数误差。

Carroll | 强哥