

工程测试技术实验

实验课注意事项

1. 学生在进出实验室时保持良好秩序，不喧哗吵闹。学生不允许穿拖鞋、短裤进入实验室。
2. 学生在动手操作前应仔细听任课老师讲解实验内容及要求，未经任课老师允许不得私自操作实验设备，不得随意触摸与本次实验课内容无关的实验设备。
3. 实验时，严格遵守课堂纪律，遵循实验操作规程。
4. 注意安全用电，不要用手、湿物接触电源及设备裸露电线。实验结束后应切断电源。
5. 实验完毕后保持实验室的清洁，将废弃物放置于垃圾桶，实验台架清理完毕方可离开实验室。

考核要求

1. 工程测试技术实验课一共有 2 次实验，每次实验 4 学时。凡有一次实验课无故缺课或缺交实验报告者，该门实验课成绩以零分计。
2. 实验课总成绩按实践表现（30%）和实验报告（70%）综合评分，其中实践表现主要考核实验项目的预习情况、考勤、实验操作等，实验报告主要考核实验项目的数据记录情况、公式推导、数据处理、结果分析等内容。

实验指导书

温度测量及标定实验

能源与动力工程学院实验教学中心

华中科技大学

一、实验目的：

1.掌握各种温度计（热电偶、热电阻、双金属温度计、压力式温度计及水银温度计）的测温原理及方法。

2.通过变工况的温度测量及标定实验，分析各种温度计的测量误差。

二、实验原理：

（1）热电偶测温

由两种不同的导体 A、B 组成的闭合回路称为热电偶，如图 1 所示。导体 A、B 为热电极，当两接点的温度不同时，回路中将产生热电流，产生热电流的电动势称为热电势，这一现象称为塞贝克效应。

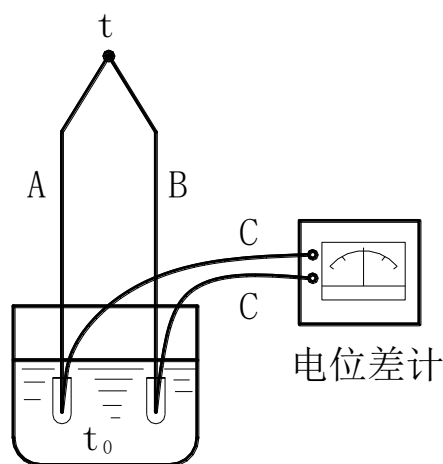


图 1 热电偶测量示意图

当构成热电偶的材料和参比端温度 t_0 确定后，热电势 $E_{AB}(t, t_0)$ 就是测量温度的单值函数，通过热电势的输出值查对应热电偶的分度表，即能确定相应的温度。本实验装置选取了三种常用的标准化热电偶：K 型（镍铬-镍硅），E 型（镍铬-铜镍），T 型（铜-康铜）。

根据热电偶测温原理可知，热电偶热电势的大小只有在参比端（冷端）温度恒定和已知时，才能反应测量端的温度。在实际应用时，热电偶的冷端总是放置在温度波动的环境中，因此冷端温度不可能是恒定值，测量结果也就不准确。为消除冷端温度对测量结果的影响，本实验采用冰浴法，即将参比端直接置于温度为 0°C 的冰点槽中，并在热电偶回路中接入第三种材料 C（通常为铜导线），再接入测温显示仪表。根据中间导体定律，在热电偶回路中接入第三种材料，只要它的两端温度相同，则对回路的热电势没有影响。

热电偶热端接点通常采用电火花熔接，焊前要消除接合处污物和绝缘漆，焊后接点呈小球状，使用时将接点置于测温处。冷端接点一般用锡焊把热电偶和铜导线连接，相互绝缘后置于冰水混合物。

热电偶输出的信号是热电势，热电势的大小需通过测温仪表来显示，本实验采用直流电位差计测电势。直流电位差计采用的是一种电位差平衡法。它采用把被测量与已知标准量比较后的差值调至零的零差测量方法。详细的使用方法见实验操作说明。

（2）热电阻测温

热电阻温度计是利用导体或半导体的电阻随温度变化而改变的性质制成的，测温时通过测量其电阻值大小来反应温度的高低。热电阻是一种参数型敏感元件，它与测量电阻值的仪表配套，即可组成热电阻温度计。

常用的热电阻温度计大多采用金属和半导体材料制造。当被测温度变化时，热电阻的电阻值随之变化，并将变化的阻值转换为电信号输送给显示仪表，在仪表中显示出温度的变化值，这就是热电阻温度计的测温原理。本实验装置分别选取了两种常用的金属热电阻： Pt_{100} 以及 Cu_{50}

（3）双金属温度计

将膨胀系数不同的两种金属片焊成一体，构成双金属温度计。当温度升高时，双金属片会产生弯曲变形，其偏转角反应了温度的数值。将偏转角经过一套机械放大系统带动指针指示温度值。双金属温度计的最大优点是抗震性能好。

（4）压力式温度计

压力式温度计是根据封闭系统的液体或气体受热后压力变化的原理而制成的测温仪表。它由敏感元件温包、传压毛细管和弹簧管压力表组成。使用压力式温度计时，必须将温包全部浸入被测介质中。压力式温度计精度较低，但使用方便，而且抗震动。

（5）标准温度计

本实验选用的标准温度计为测量精度为 0.01°C 的水银温度计。实验时将标准温度计和被标定的温度计都置于恒温水槽中，比较二者的温度测量指示值，确定被标定温度计的基本误差。

三、实验装置

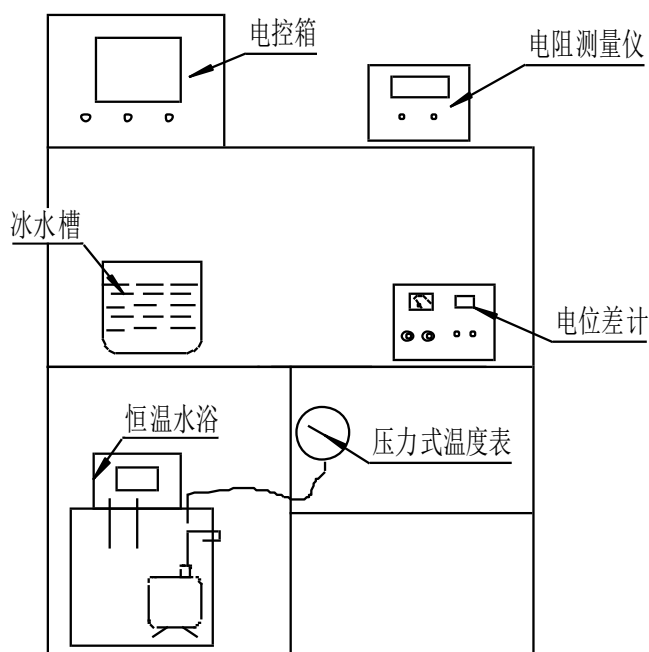


图 2 实验装置结构示意图

整套装置包含恒温水浴、冰点槽（冰水混合物）、直流电位差计、电阻测量仪、触摸屏、各种型式的温度计。恒温水浴采用电子调温与数字显示控温，实验时将各温度计插入恒温水槽中。

恒温水浴（型号 DC0506）上数显温控表作为温度控制仪表，控温精度为 0.1°C ，使用范围为 $-5\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。实验时可将温度设置在给定工况下，本实验温度设定工况详见实验工况分组表。

电阻测量仪为直流电阻测试仪，型号 YP2511，测量范围 $10\mu\Omega\sim 20\text{k}\Omega$ 。带 RS485 通讯。通过查询热电阻的分度表可读出相应热电阻的测量温度值。

电控箱触摸屏上能自动显示热电偶及热电阻的温度测量值。

电位差计为数字式直流电位差计，型号 UJ33D-1，测量范围 $0\sim 19.999\text{mV}$ ，分辨力 $1\mu\text{V}$ ，基本误差 ± 0.05 。

温度测量及数据采集界面如图 3 所示。

各温度计的型号规范如下：

- （1）标定用水银温度计：量程 $38\sim 42^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.01°C ；量程 $48\sim 52^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.01°C ；量程 $58\sim 62^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.01°C 。
- （2）压力式温度计：型号 WTQ-280，量程 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，精度 2.5 级。
- （3）双金属温度计：型号 WSS-311，量程 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，精度 1.5 级。

- (4) K 型铠装热电偶：型号 WRNK-191， $\Phi 2*150\text{mm}$ ，量程 $0\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.1 级。
- (5) E 型铠装热电偶：型号 WRNK-191， $\Phi 2*150\text{mm}$ ，量程 $0\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.1 级。
- (6) T 型铠装热电偶：型号 WRNK-191， $\Phi 2*150\text{mm}$ ，量程 $0\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.1 级。
- (7) Pt_{100} 铠装热电阻：型号 WRNK-191， $\Phi 2*150\text{mm}$ ，量程 $-50\sim 450^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.1 级。
- (8) Cu_{50} 铠装热电阻：型号 WRNK-191， $\Phi 3*150\text{mm}$ ，量程 $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，精度 0.1 级。

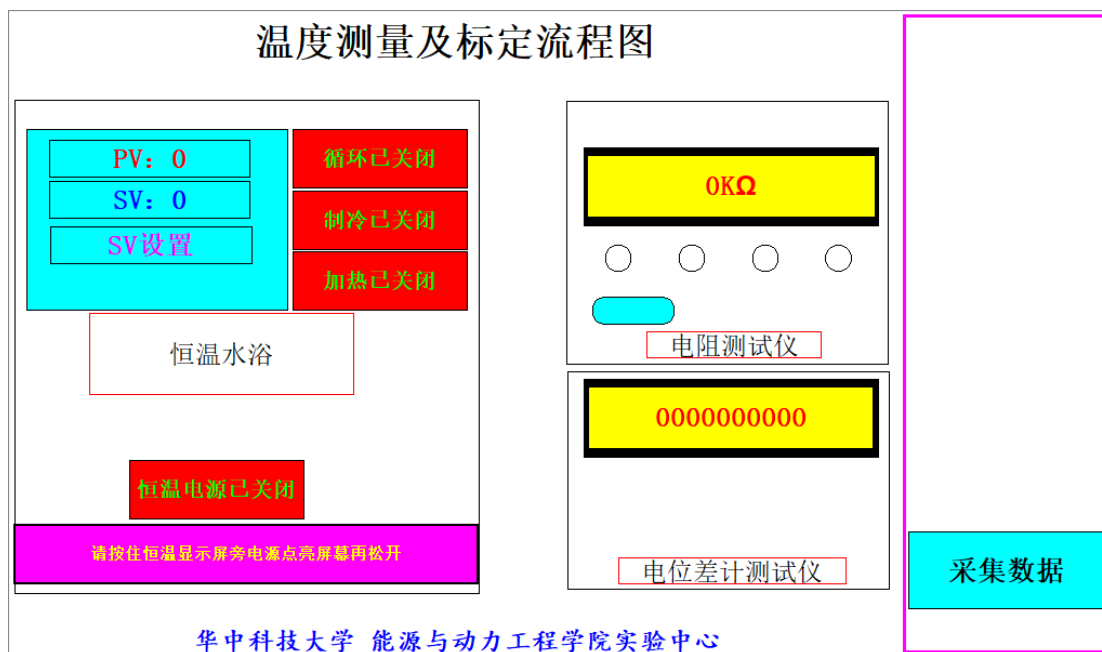


图 3 温度测量及数据采集界面

说明：本实验装置一共有 3 套，每套装置配套的标定水银温度计型号规范不同，实验时根据各小组分组工况选择带有相应量程范围水银温度计的设备。

四、实验方法和步骤

- 1、往冰点槽中加入少量冰块和水的混合物（冰块从制冰机中拿取），初始加入时应冰块多水少，并在实验过程中随时监测冰水混合物形态，一旦冰块融化及时补充，确保冰点槽内温度为 0°C 。（注意区分冰点槽和恒温水浴）
- 2、打开电控箱上电源开关和触摸屏开关，进入温度测量及标定实验系统软件。在触摸屏上点击恒温水浴电源开关开启恒温水浴电源，点击加热开关和循环开关，设置加热温度到实验工况（实验工况详见实验工况分组表）。**注意：**恒温水浴开启后，若听到滴滴声响，表示水浴中水量不够，需打开水龙头往水浴补水。
- 3、温度达到设计工况稳定后进行读数。每种温度计分 5 次进行读数（每隔 1 分钟读取一次），最终测量值取 5 次测量结果的算数平均值。
- 4、K 型、E 型和 T 型热电偶需在直流电位差计上测量出热电势的大小，通过查对应热电偶的

分度表查出相应热电偶的温度值。

直流电位差计的具体操作方法如下：

- (1) 将电控箱上的信号线与电位差计的信号接口（RS232）相连。
- (2) 将待测热电偶按正负级分别接到 “+” “-” 接线柱上，红色（正级）接 U_x 接线柱，黑色（负级）接 P-/C-接线柱。
- (3) 将测量量程拨到 20mV，将电位差计上左侧档位拨到“调零”档。稳定 2min 后，调节“调零”旋钮使电位差计读数为 0mV。
- (4) 将电位差计上左侧档位拨到“测量”档，开始进行测量，稳定后（稳定时间约 2min）每隔 1min 记录一次数据。
- (5) 一个热电偶测量完毕切换至另一个热电偶测量时，需重新调零后再进行测量。

5、 Pt_{100} 及 Cu_{50} 铠装热电阻温度计需在电阻测试仪上测量相应温度计的电阻值，通过查取对应热电阻温度计的分度表获得相应的温度值。直流电阻测试仪使用方法如下：将待测热电阻上的红色（正极）接头与电阻测试仪上的红色钳子相连，将待测电阻上的 2 个蓝色（负极）接头与电阻测试仪上的黑色钳子相连，稳定后每隔 1min 记录一次数据。

6、测量结束后先关闭加热和循环开关，然后关闭恒温水浴电源开关。将待测热电偶和直流电位差计上信号线（RS232 接口）拔出，关闭触摸屏和总电源开关。最后将实验台面整理干净。

注意：因实验装置需要轮换使用，要求最后一组使用该台架的同学负责整理好实验台。

五、实验工况分组表

大组号	小组号	实验工况	标定水银温度计量程
一	A、B、C、D	工况 1: 39℃	38℃~42℃
四	A、B、C、D	工况 2: 40℃	
七	A、B、C、D	工况 3: 41℃	
二	A、B、C、D	工况 5: 49℃	48℃~52℃
五	A、B、C、D	工况 6: 50℃	
八	A、B、C、D	工况 7: 51℃	
三	A、B、C、D	工况 9: 59℃	58℃~62℃
六	A、B、C、D	工况 10: 60℃	
九	A、B、C、D	工况 11: 61℃	

六、实验数据记录

实验数据应取实验进入稳定状态后的连续 5 次读数（每隔 1min 读数一次），并记录数据。

实验数据记录表

<div> <div>工况</div> <div>仪表型号</div> </div>	<div> <div>工况_____</div> <div>温度_____℃</div> </div>				
	1	2	3	4	5
标准水银温度计 (℃)					
K 型热电偶电势 (mV)					
E 型热电偶电势 (mV)					
T 型热电偶电势 (mV)					
Pt_{100} 热电阻值 (Ω)					
Cu_{50} 热电阻值 (Ω)					
双金属温度计 (℃)					
压力式温度计 (℃)					

六、误差分析

本实验需要计算各测量仪表的标准误差值，按式（1）计算

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (1)$$

其中： n 为测量仪表的测量次数， $n = 5$ ， X_i 为各温度计的 5 次测量读数， \bar{X} 为温度测量的标定值，取标准水银温度计 5 次测量的平均值。

备注：各仪表的标准误差值应与标准水银温度计读数做比较进行计算。

流量测量及标定实验

一、实验目的

- 1、了解各种流量计的测量原理和基本结构；
- 2、通过变工况的流量测量及标定实验，分析各种流量计的测量误差。

二、实验原理：

（1）浮子流量计

浮子流量计是一种通过截面变化来计算流量的节流式流量计。它由一个垂直的锥形管作本体，大口朝上，管中放置一个可上下自由浮动的浮子。当被测流体从下而上流动时，推动浮子上浮，浮子上浮的高度就表示流量的大小。

（2）齿轮流量计

齿轮流量计是容积式流量计的一种，用于精密的连续或间断的测量管道中液体的流量。流量计腔体内有一对互相啮合的齿轮，两个尺寸与腔体可分别构成一个固定的体积，称为标准容积。流量就是通过计算一定时间内来流通过标准容积的个数来计量。齿轮流量计的原理是正位移原理，介质的流动使齿轮转动，齿轮的旋转被 2 个非接触式的检脉冲器扫描，每一个齿轮产生一个脉冲，最终产生于流量成比例的频率信号，进而得出流量值。

（3）涡轮流量计

将涡轮置于流体中，涡轮受流体的作用而旋转，其转速与流量成正比。涡轮的转速由磁电转换装置转换成电脉冲信号，经前置放大器放大后由显示仪表显示和读数。涡轮流量计由涡轮流量变送器和显示仪表组成。

（4）涡街流量计

涡街流量计是一种流体振动式流量计，是利用流体动力学中卡门涡列的原理制成的一种仪器。其工作原理是把一个非流线型的对称体（如圆柱体）垂直插在管道中，流体绕流时，由于附面层分离，在圆柱体左、右两侧后方会交错出现漩涡，并形成涡列。该圆柱体称为漩涡发生体，而检测漩涡频率的元件称为传感器。漩涡的频率仅与流体的平均速度成正比。检测出漩涡产生频率，就能计算出流体的流量。使用这种流量计测量时，要求流量计管路有直管段，上游的直管长为 $(15 \sim 20D)$ ，下游的直管长为 $5D$ 。试验表明：对于水， Re_D 为 $5000 \sim 150000$ 时，漩涡涡列是稳定的。

（5）电磁流量计

电磁流量计的工作原理是法拉第电磁感应定律。一对电极产生均匀的磁场，不导磁管道

垂直于磁场方向，管道垂直断面上同一直径的两端安装一对电极，并在空间结构上保证磁力线、电极和管道轴线互相垂直。当导电流体流过管道时，便切割磁力线，在电极上产生感应电势。当管道直径和磁场强度一定时，体积流量和感应电势成正比。其中，将体积流量转变成感应电势的部分称为转换器（也叫变送器），再由显示仪表显示出流量数值。

（6）节流压差式流量计

流体流经孔板、喷嘴或文丘里管等节流元件时，将产生局部收缩，其流速增加，静压降低，在节流元件前后产生静压差。因此，节流装置选定后，静压差与流量的关系也就确定了，流量愈大，静压差也愈大。测出节流元件前后的静压差，即可算出流量值。该流量计也称压差式流量计。

在本实验装置中，气体流量测量及标定装置使用的为孔板流量计，液体流量测量及标定装置使用的为文丘里流量计。

a) 孔板流量计



图 1 孔板流量计

孔板流量计由一次检测件（节流件）和二次装置（差压变送器和流量显示仪）组成。标准孔板是一类规格最多的标准节流装置，广泛应用于各种流体特别是气体流量测量中，孔板的结构因压力、开孔直径、取压方式的不同而不同。孔板取压方法有角接取压、法兰取压和径距取压三种。

孔板流量计的体积流量按式（1）计算：

$$Q = \alpha^* S_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

其中： α^* 为流量系数； S_0 为节流元件的开孔面积； Δp 为节流元件前后压差。

b) 文丘里流量计

文丘里流量计为新一代压差式流量测量仪表，其基本测量原理是以能量守恒定律-伯努利方程和流动连续性方程为基础的流量测量方法。

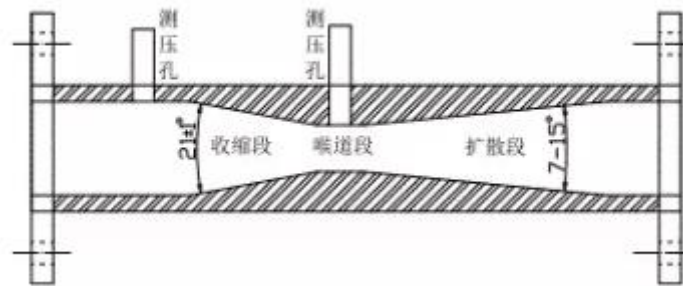


图 2 孔板流量计结构图

文丘里流量计由收缩段、喉道段和扩散段三部分组成。在喉道部和上游收缩段前设测压孔，以测出这两个断面的压差。与孔板流量计相比，文丘里流量计水头损失较小。

文丘里流量计的体积流量按式（2）计算：

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}} \quad (2)$$

其中d为文丘里流量计的喉道直径，D为管道横截面直径， Δp 为上游收缩段和喉道部测量压差。

（7）热式气体质量流量计

热式气体质量流量计是利用热扩散原理测量气体流量的仪表。传感器由两个基准级热电阻（RTD）组成。一个是速度传感器 RH，一个是测量气体温度变化的温度传感器 RMG。当这两个 RTD 置于被测气体中时，其中传感器 RH 被加热，另一个传感器 RMG 用于感应被测气体温度。随着气体流速的增加，气流带走更多热量，传感器 RH 的温度下降。两者之间的温差与气体流速有关。当气体流速增大时，两个热电阻之间的温差减小；反之当气体流速减小时，两个热电阻的温差增大。通过控制电路保持恒定的温差，并测量加在 RH 上的电压或电流，就可以计算出气体的质量流量。

（8）旋进漩涡流量计

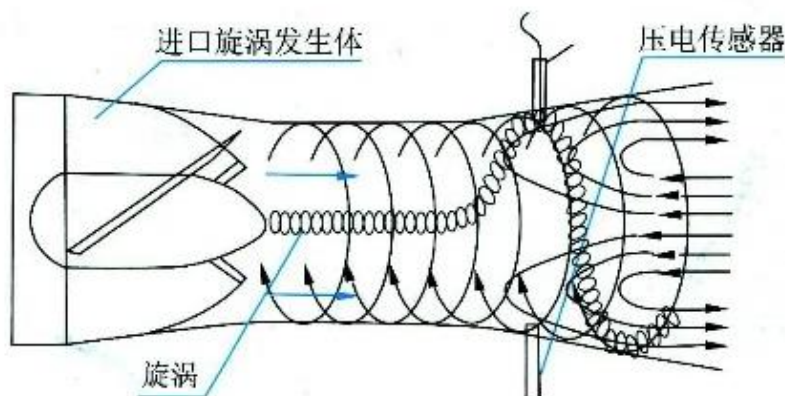


图 3 旋进漩涡流量计结构图

旋进漩涡流量计主要由壳体、旋涡发生体、传感器（温度、压力、流量）、整流器、支架和转换器构成。

旋进漩涡流量计的流通剖面类似文丘里管的型线。在入口侧安放一组螺旋型导流叶片，当流体进入流量传感器时，导流叶片迫使流体产生剧烈的旋涡流。当流体进入扩散段时，旋涡流受到回流的作用，开始作二次旋转，形成陀螺式的涡流进动现象。该进动频率与流量大小成正比，不受流体物理性质和密度的影响，检测元件测得流体二次旋转进动频率就能在较宽的流量范围内获得良好的线性度。信号经前置放大器放大、滤波、整形转换成与流速成正比的脉冲信号，然后再与温度、压力等检测信号一起被送往微处理器进行积算处理，最后显示测量结果。

(9) 流速法测量流量

流体通过管道的体积流量按式（3）计算：

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (3)$$

式中 D 为管道横截面直径， ΔP 为管道总压与静压差，采用毕托管进行测量， ρ 为流体密度。

三、实验装置

流量测量及标定实验装置一共有 4 套，其中气体流量测量及标定实验装置 2 套，液体流量测量及标定实验装置 2 套。气体流量测量及标定实验系统流程图如图 4 所示，液体流量测量及标定实验系统流程图如图 5 所示。

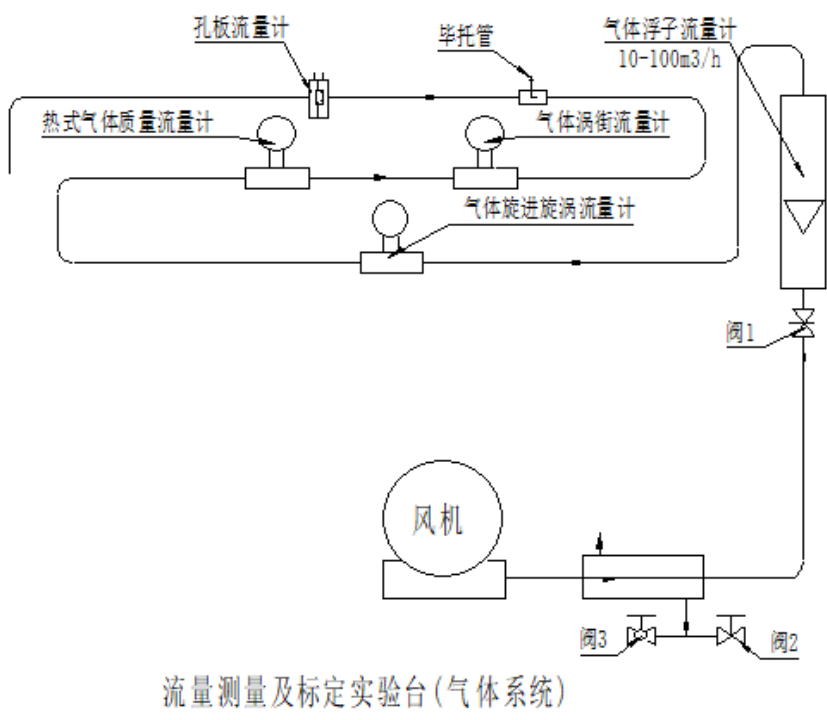
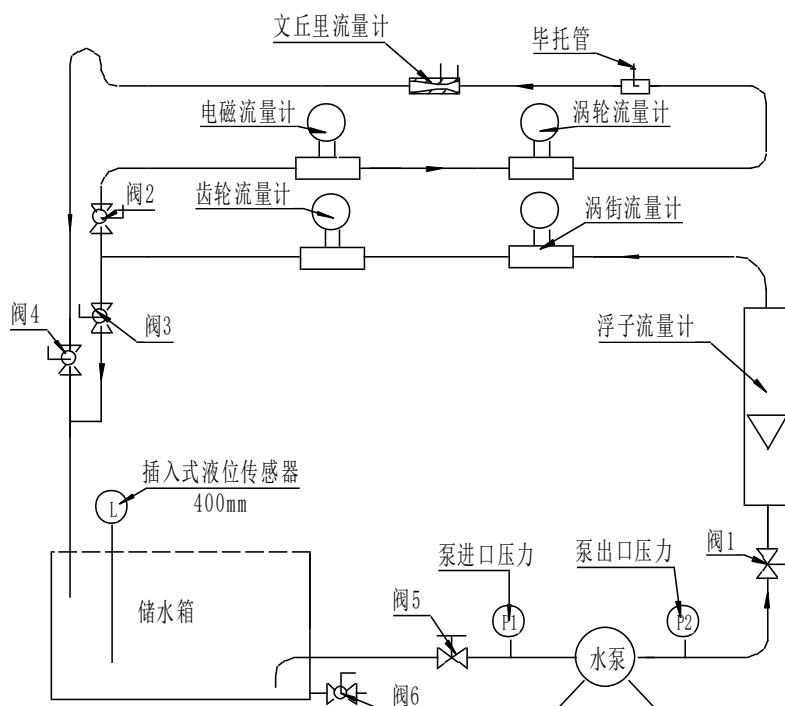


图 4 气体流量测量及标定实验系统流程图

气体流量测量及标定实验台各组成部件主要性能及参数如下：

- (1) 风机：旋涡式气泵。型号 1：PG-1100，额定风量 $180\text{m}^3/\text{h}$ ，风压 28kPa ；型号 2：HG-1500-S，额定风量 $140\text{m}^3/\text{h}$ ，风压 50kPa ，额定功率 1500W 。
- (2) 浮子流量计：LZ/G30-40，流量范围 $10\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 2.5 级。
- (3) 旋进漩涡流量计：型号 DTRLUX-DN40，304 不锈钢法兰， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $8\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.25 级。
- (4) 涡街流量计：型号 DTRLUGB-DN32， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $10\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.1 级。
- (5) 热式气体质量流量计：型号 DTRTMF-DN32， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $1.5\sim 150\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.25 级。
- (6) 孔板流量计：开孔直径 $d = 13\text{mm}$ 。
- (7) 毕托管：L 型毕托管，规格 $\Phi 4\times 100\text{mm}$
- (8) 管道内径 $D = 34\text{mm}$ 。
- (9) 差压传感器：UCY-211-B，量程 $0\sim 10\text{kPa}$ ， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，精度 0.25 级。
- (10) 差压传感器：UCY-211-B，量程 $0\sim 5\text{kPa}$ ， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，精度 0.25 级。



流量测量及标定实验台(液体系统)

图 5 液体流量测量及标定实验系统流程图

液体流量测量及标定实验台设备组成部件主要性能及参数如下：

- (1) 水泵：轻型不锈钢卧式多级离心泵，型号 BW2-3，额定流量 $2\text{m}^3/\text{h}$ ，额定扬程 22m，额定功率 370W.
- (2) 浮子流量计：LZT-2520G 特，流量范围 $2\sim 20\text{GPM}/10\sim 70\text{LPM}$ ，精度等级 2.5 级。
- (3) 齿轮流量计：型号 NKGf15，DN15， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $0.2\sim 3\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.5 级。
- (4) 涡轮流量计：型号 LWGB-15，DN15， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $0.3\sim 5\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.1 级。
- (5) 涡街流量计：型号 HLUGB，DN15， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $0.3\sim 5\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.25 级。
- (6) 电磁流量计：型号 HHLD-DN15， $4\sim 20\text{mA}$ 信号输出，24V 供电，量程 $0.32\sim 6.3\text{m}^3/\text{h}$ ，精度等级 0.25 级。
- (7) 文丘里流量计：喉部直径 $d = 6.5\text{mm}$.
- (8) 毕托管：L 型毕托管，规格 $\Phi 3*60\text{mm}$
- (9) 管道内径 $D = 16\text{mm}$.
- (10) 差压传感器：型号 CCY16-H-06B-RS-34-B-G5，量程 $0\sim 10\text{kPa}$ ，精度 0.25 级
- (11) 差压传感器：型号 CCY16-H-06B-RS-34-B-G5，量程 $0\sim 10\text{kPa}$ ，精度 0.25 级
- (12) 差力传感器：型号 UZ-501T，量程 $0\sim 0.4\text{MPa}$ ，精度 0.1 级
- (13) 差力传感器：型号 UZ-501T，量程 $-50\sim 0\text{kPa}$ ，赫斯曼系列，精度 0.1 级
- (14) 储水箱容积：50L.

注意：气体流量测量及标定实验台与液体流量测量及标定实验台流量计配置有所不同，实验时根据所选用的设备相应记录各仪表数据。

四、实验方法和步骤

1、气体流量测量及标定实验装置

(1) 打开电源开关和触摸屏开关，启动触摸屏进入数据采集软件系统。关闭风机冷却器上排水阀 3。打开阀 2（逆时针旋转一定角度，不全开），打开水龙头（旋转角度 30° 左右）将冷却水供给风机冷却器进水管，观察有冷却水从风机冷却器出水管流出。打开风机开关启动风机，调节风机频率使流量达到设计工况。详细设计工况见表 1。

(2) 流量稳定后（稳定时间约 3~5min）进入数据采集界面读取各流量计的读数以及压差值（每隔 1 分钟记录一次数据）。本系统中**涡街流量计**测试精度最高，故以涡街流量计作为标定流量计。

(3) 实验结束后关闭风机开关，退出软件，关闭触摸屏和电源开关。关闭水龙头和阀 2（顺时针旋转到头），打开排水阀 3 排空管道和冷却器中的液体，整理实验台。

2、液体流量测量及标定实验装置

(1) 打开电源开关和触摸屏开关，启动触摸屏进入流量测量及标定软件。打开阀 1（逆时针旋转 to 最大），排走管道内残余的气体，打开水泵开关，观察各管路水流是否通畅（有水流从出口处返回水箱）。关闭阀 3 让水流通过流量计主管路，观察各流量计读数是否正常。

(2) 打开文丘里流量计上的压差传感器连接阀门和传感器上排气阀，对测压管路进行排气。差压传感器排气方法：打开对应的压差传感器连接阀 2 及传感器上排气阀 4 对差压传感器一侧管路进行排气（排气时间约 30S），随后关闭阀 2，打开阀 1、阀 3 进行差压传感器另一侧管路排气（排气时间约 30S）。测压管道排气完成后，关闭阀 3 和阀 4，打开阀 2 进行测量。毕托管测压管路排气方法参照文丘里流量计测压管路排气步骤。排气结束后开始进行实验。实验完成后关闭相应的压差传感器连接阀 1、2。

注意：压差传感器连接管路阀门及传感器排气阀阀门编号 1~4 为单独编号，不可与主系统阀门编号 1~4 弄混。详见图 6 文丘里流量计及毕托管压差传感器连接管路图。

(3) 调节主系统管道上阀 1 开度大小（顺时针旋转调节），将流量值调到设计工况（流量从大往小进行调节），详细的工况设置见表 2。（可按浮子流量计读数进行调节，工况调至设计工况附近即可）。

(4) 流量稳定后（稳定时间约 3~5min）进入数据采集界面进行读数并采集数据，每隔 1min 记录一次。

(5) 实验结束后，关闭水泵开关，退出软件，关闭触摸屏和电源开关并整理实验台。打开阀 3 排出管道中的积水。

本实验台架中**涡轮流量计**测量精度最高，故以涡轮流量计流量值作为标准流量值。

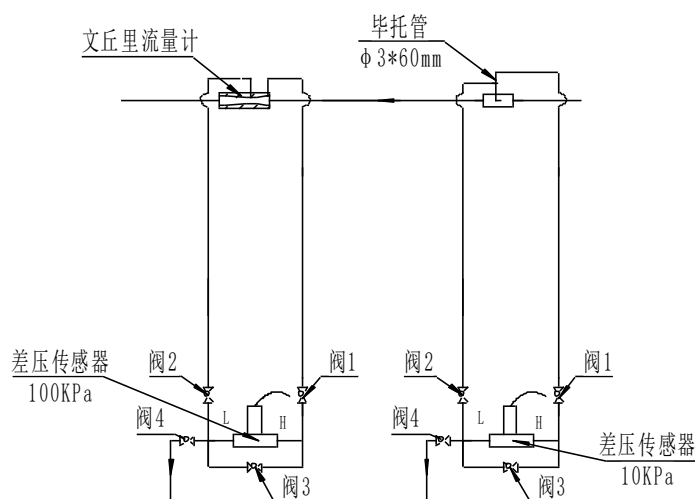


图 6 文丘里流量计及毕托管压差传感器连接管路图

注意：因实验装置需要轮换使用，要求最后一组使用该台架的同学负责整理好实验台。

六、实验数据记录

流量测量及标定实验按小组分组号任选一套装置完成。其中组号为一、三、五、七、九的同学完成气体流量测量及标定实验，组号为二、四、六、八的同学完成液体流量测量及标定实验。详细的工况安排如下表 1。

注意：气体流量测量及标定实验装置与液体流量测量及标定实验装置仪表配置不同，实验时不要选错台架!!!

表 1 实验工况分组表

大组号	小组号	实验工况
一、三、五、七、九 (气体流量测量及标定实验)	A	工况 1: 风机频率 20Hz
	B	工况 2: 风机频率 25Hz
	C	工况 3: 风机频率 30Hz
	D	工况 4: 风机频率 35Hz
二、四、六、八 (液体流量测量及标定实验)	A	工况 1: 0.6m ³ /h
	B	工况 2: 0.9m ³ /h
	C	工况 3: 1.2m ³ /h
	D	工况 4: 1.5m ³ /h

a) 气体流量测量及标定实验系统

1、孔板流量计流量系数 α^* 的确定

管道内截面上的平均流速：

$$u_m = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (4)$$

注意：此处的流量 Q 取最终的流量标定值（涡街流量计 5 次连续读数的平均值）。

雷诺数：

$$Re = \frac{u_m D}{\nu} \quad (5)$$

其中管道内径 $D = 34\text{mm}$ ； ν 为空气的运动黏度，根据空气的测量温度查空气的热物理性质表可得。

雷诺数确定后，查标准孔板的流量系数表（教材 P144 页图 5-5），可查得孔板的流量系数。流量系数随雷诺数变化而变化，但当雷诺数大到某一值后，流量系数可视为常数。常用的流量系数 α^* 一般为 0.6~0.7。

流量系数确定后，可用式（1）计算孔板流量计的流量值。其中孔板流量计的开孔直径为 $d = 17\text{mm}$ 。

2、流速法流量测量

流速法流量测量按式（3）计算。

3、实验数据记录表

实验数据应取系统进入稳定状态后的连续五次读数（每隔 1min 读一次），并记录数据。

表 1 实验数据记录表（气体流量测量及标定系统）

<div> <div>工况</div> <div>仪表型号</div> </div>	<div> <div>工况_____</div> <div>风机频率_____ Hz</div> </div>				
	1	2	3	4	5
流量标定值 m^3/h (涡街流量计)					
浮子流量计 m^3/h					
热式气体质量流量计 m^3/h					
气体旋进漩涡流量计 m^3/h					
孔板流量计（压差）kPa					
毕托管（压差）kPa					
气体温度 $^{\circ}\text{C}$					

4、误差分析

本实验需要计算各测量仪表的标准误差值，按式（6）计算

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n}} \quad (6)$$

其中： n 为测量仪表的测量次数， $n = 5$ ， X_i 为各流量计的 5 次测量读数， X 为流量测量的标定值，取标定流量计（涡街流量计）5 次读数的平均值。

b) 液体流量测量及标定实验系统

1、文丘里流量计流量计算

文丘里流量计的体积流量按式（2）计算：

其中文丘里流量计的喉道直径 $d = 0.0065\text{m}$ ，管道横截面直径 $D = 0.016\text{m}$ 。

2、流速法流量测量

流速法流量测量按式（3）计算。

3、实验数据记录表

实验数据应取系统进入稳定状态后的连续五次读数（每隔 1min 读一次），并记录数据。

表 2 实验数据记录表（液体流量测量及标定系统）

工况 仪表型号	工况_____ 流量_____ m^3/h				
	1	2	3	4	5
流量标定值 m^3/h (涡轮流量计)					
浮子流量计 m^3/h					
涡街流量计 m^3/h					
齿轮流量计 m^3/h					
电磁流量计 m^3/h					
文丘里流量计（压差） kPa					
毕托管（压差） kPa					
液体温度 $^{\circ}\text{C}$					

4、误差分析

本实验需要计算各测量仪表的标准误差值，按式（6）计算

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n}} \quad (6)$$

其中： n 为测量仪表的测量次数， $n = 5$ ， X_i 为各流量计的 5 次测量读数， X 为流量测量的标定

值，取标定流量计（涡轮流量计）5 次读数的平均值。

备注：各流量测量仪表的误差值应与标定流量计比较进行分析。选用气体流量测量与标定实验台的同学各流量测量仪表的误差值与涡街流量计测量值进行比较，选用液体流量测量与标定实验台的同学各流量测量仪表的误差值与涡轮流量计测量值进行比较。

压力及流速测量实验

一、实验目的

- 1、了解各种压力计的基本结构和测量原理；
- 2、通过变工况的压力测量，分析各种压力计的测量误差。
- 3、通过静压和动压的测量，计算流体的流速。

二、实验原理：

（1）膜片式压力计

膜片式压力计是利用金属膜片作为感压元件制成的，膜片是四周固定的圆形薄片，当膜片两侧受到不同压力时，膜片中部将产生变形，弯向压力小的一面，使中心产生一定的位移，通过传动机构，使指针转动。

（2）膜盒式压力计

膜盒式压力计是用两个金属膜片相对焊接而制成的，其特性因波纹形状不同、焊接方法不同而异。它与膜片相比，增加了中心位移量，从而提高了灵敏度。

（3）应变式压力传感器

金属导体或半导体在发生机械变形时，其电阻值均会发生变化，这种现象称为应变效应。应变式压力传感器是由应变片粘贴在感压弹性元件上构成的，它将被测压力的变化转换成电阻的变化。测量电路一般采用电桥电路，将压力传感器中的应变片作为相邻的两个桥臂，通过桥路将电阻量的变化转换成电桥的输出电压的变化。

（4）压电式压力传感器

压电式压力传感器的工作原理是基于某些材料的压电效应。压电效应是指某些电极化晶体在应力作用下具有的特性，即对于某些电极化晶体，在沿一定方向对其施加压力或拉力而使其变形时，其表面上会产生电荷，当除去外力后，又重新恢复到不带电状态。压电式压力传感器主要由感压弹性膜片、支持片、压电晶体及引出线、绝缘套管等组成。被测压力通过感压弹性膜片、支持片加到压电晶体上，压电晶体产生的电荷由压在压电晶体间的金属箔导出。

（5）电感式压力传感器

电感式压力传感器主要由感压弹性元件、传动机构和电感传感器组成。被测压力使弹性元件变形，通过传动机构带动衔铁或铁芯运动。当衔铁或铁芯移动时，气隙长度 δ 将发生变化，从而使线圈的电感发生变化。传感器将衔铁或铁芯的位移变换为电信号输出，从而实现压力信号向电信号的转换。

(6) 电容式压力传感器

电容式压力传感器是通过改变电容器极板间的距离来实现信号转换的。它以感压弹性元件—金属膜片为电容器的活动极板，与固定在传感器壳体上的另一极板形成一电容器。当感受被测压力时，弹性膜片的变形就使得电容器极板之间的距离发生变化，从而导致了电容的变化，通过测量电容的变化就可得到压力的变化。

(7) 压阻式压力传感器

压阻式压力传感器是基于某些材料的电阻值随压力的变化而变化的原理制成的。它由锰铜丝绕制的电阻、金属支架、绝缘密封螺丝和传感器压力腔等组成。被测压力由接口管引入。

(8) 压磁式压力传感器

压磁式压力传感器是利用铁磁材料在压力作用下会改变其磁导率的物理效应制成的。它由感压弹性膜片、线圈、铁芯等组成。被测压力通过感压弹性膜片传递给铁芯，由坡莫合金制成的铁芯在压力的作用下，其磁导率就发生改变，从而引起线圈阻抗的变化。

(9) 霍尔效应压力传感器

若在某些金属或半导体薄片两端通以控制电流，并在此薄片的垂直方向加上磁场，则在垂直于电流和磁场的方向上将产生一电动势，这一现象称为霍尔效应，能产生霍尔效应的薄片称为霍尔元件。霍尔元件一般采用半导体材料。霍尔效应压力传感器的工作原理是霍尔效应。它主要由感压弹性元件、霍尔元件及永久磁铁等组成。霍尔元件与感压弹性元件相连接，当被测压力使感压弹性元件变形时，处在非均匀磁场中的霍尔元件就被带动，产生位移，使得施加于霍尔元件上的磁感应强度发生变化，从而霍尔元件的输出电势发生变化。霍尔元件的输出电压与位移呈线性关系。

(12) L 形速度探针

L 形速度探针是用细管弯成 L 形制成的，其头部呈半球形。根据绕流原理，总压测压孔开在探针的端部正对流动方向上，静压测压孔开在距端部 3 倍管径处探针的侧表面，测压孔中心至支杆的距离为 8 倍管径。把总压和静压连接到同一个 U 形管上，便能得到确定流体速度的总压与静压之差，流体速度根据下式 (1) 计算：

$$c = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

其中 Δp 为总压与静压差， ρ 为流体的密度。

(13) 笛形管探针

在测量尺寸较大的管道内的平均流速时，常采用笛形管探针。将一根不锈钢管或铜管垂直插入被测管道内，在笛形管上，按等面积原则开若干小孔，并在笛形管两端用联通管连

接起来，测压孔感受到管内不同半径处的总压便会自动取平均值，作为被测管道内的总压。静压孔则开在被测管道的壁面上。笛形管探针测量流体速度同样采用式（1）计算。

（14）靠背式探针

为防止灰尘堵塞，可以用靠背式探针测量管道气流。流速测量方法同 L 型速度探针和笛型管探针。

（15）热线风速仪

热线风速仪是将流速信号转变为电信号的一种测速仪器。其原理是将一根通电加热的细金属丝（热线）置于气流中，热线在气流中的散热量与流速有关，而散热量导致热线温度变化而引起电阻变化，流速信号即转变为电信号。它有两种工作模式：①恒流式，亦称定电流法，即加热金属丝的电流保持不变，气体带走一部分热量后金属丝的温度就降低。流速愈大温度降低就愈多，温度变化时热线电阻改变，两端电压变化，因而测得金属丝的温度则可知流速的大小；②恒温式，亦称定电阻法（即定温度法），改变加热的电流使气体带走的热量得以补充，而使金属丝的温度保持不变，这时流速愈大则所需加热的电流也愈大，根据所需施加的电流则可知流速的大小。

（16）精密压力表

精密压力表由测压系统、传动机构、指示装置和外壳组成。精密压力表的测压弹性元件经特殊工艺处理，使精密压力表性能稳定可靠，与高精度的传动机构配套调试后，能确保准确的指示精度。

测压系统由接头、弹簧管和齿轮传动机构等组成。

指示装置由分度盘、镜面和指针等组成。由指针将齿轮轴的偏转值相应地在分度盘上指示出被测介质的压力值。

外壳部分由表盖、表玻璃和罩壳等组成。表盖的下端设有供调整零位用调零装置，以保持零值和读数的准确性。

精密压力表的工作原理是：当被测介质的压力作用于弹性元件后，使其产生弹性变形-位移，经拉杆带动传动机构放大，由指示装置指示被测压力。

三、实验装置

压力及流速测量实验装置一共有 4 套，其中气体压力及流速测量装置两套（配套风机型号不同），实验装置系统流程图如图 1、2 所示。液体压力及流速测量装置两套，实验装置系统图如图 3 所示。

气体压力及流速测量装置（双叶轮漩涡气泵）设备组成部件主要性能及参数如下：

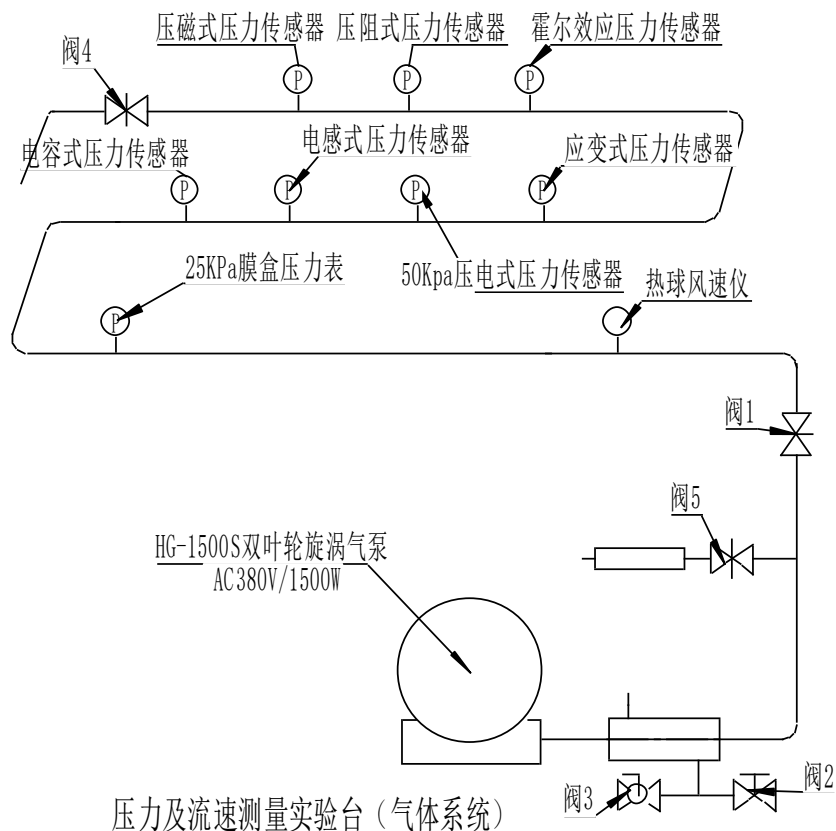


图 1 气体压力及流速测量实验系统流程图 (1) -双叶轮漩涡气泵

(1) 风机：双叶轮漩涡气泵，型号 HG-1500-S，风量 $140\text{m}^3/\text{h}$ ，风压 50kPa ，额定功率 1500W 。

(2) 膜盒式压力计：指针式压力表，量程 $0\sim 25\text{kPa}$ ，精度 1.6 级。

(3) 应变式压力传感器：型号 ISA170-YBHAG2，量程 $0\sim 50\text{kPa}$ ，信号电流： $4\sim 20\text{mA}$ ， 24V 供电，精度 0.1 级。

(4) 压电式压力传感器：型号 ISA103-YDM12AG4，量程 $0\sim 50\text{kPa}$ ，信号电流： $4\sim 20\text{mA}$ ， 24V 供电，精度 0.1 级。

(5) 电感式压力传感器：型号 YSG-3，量程 $0\sim 50\text{kPa}$ ，信号电流： $4\sim 20\text{mA}$ ， 24V 供电，精度 0.1 级。

(6) 电容式压力传感器：型号 ISA109-DRHAG2，量程 $0\sim 50\text{kPa}$ ，信号电流： $4\sim 20\text{mA}$ ， 24V 供电，精度 0.1 级。

(7) 霍尔效应压力传感器：型号 HR-501，量程 $0\sim 50\text{kPa}$ ，信号电流： $4\sim 20\text{mA}$ ， 24V 供电，精度 0.1 级。

(8) 压阻式压力传感器：型号 ISA105-YZM12AG2，量程 $0\sim 50\text{kPa}$ ，信号电流： $4\sim 20\text{mA}$ ， 24V 供电，精度 0.1 级。

(9) 压磁式压力传感器：型号 PIE-501，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(10) 靠背式探针：孔径 3mm.

(11) 热线风速仪：型号 GM8903，风速范围 0~30m/s，风温范围 0~45℃，风量测量误差 ±3%.

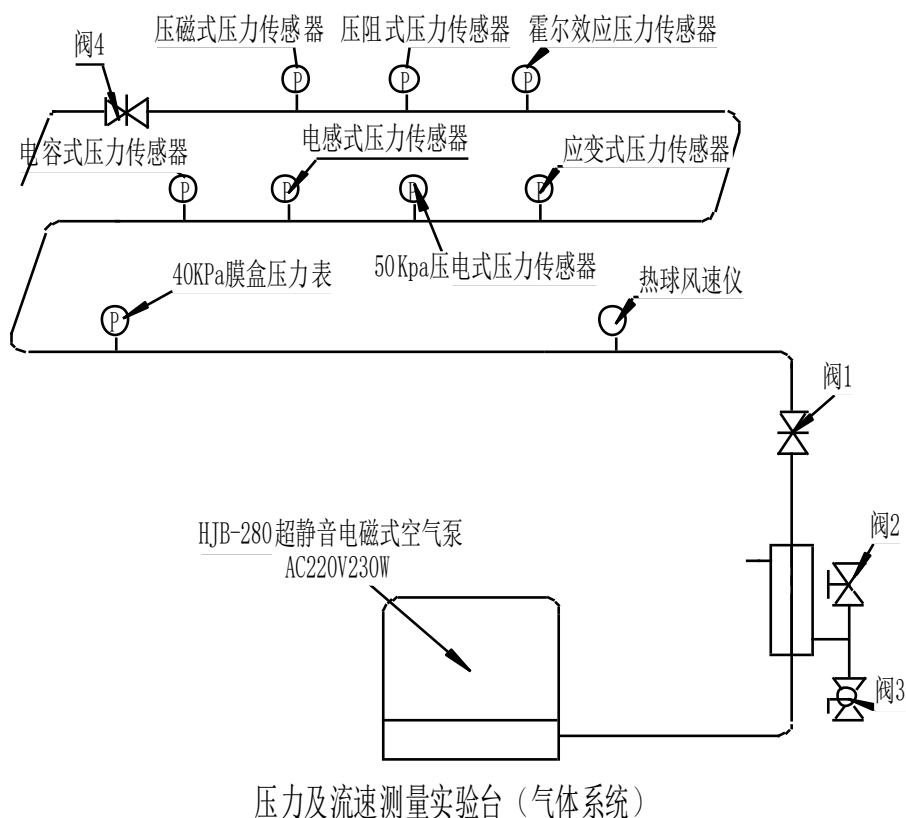


图 2 气体压力及流速测量实验系统流程图 (2) -超静音电磁式空气泵

气体压力及流速测量装置（超静音电磁空气泵）设备组成部件主要性能及参数如下：

(1) 风机：超静音电磁空气泵，型号 HJB-280，最大流量 280L/min，风压 50kPa，最大功率 230W.

(2) 膜盒式压力计：指针式压力表，量程 0~40kpa，精度 1.6 级。

(3) 应变式压力传感器：型号 ISA170-YBHAG2，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(4) 压电式压力传感器：型号 ISA103-YDM12AG4，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(5) 电感式压力传感器：型号 YSG-3，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

- (6) 电容式压力传感器：型号 ISA109-DRHAG2，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。
- (7) 霍尔效应压力传感器：型号 HR-501，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。
- (8) 压阻式压力传感器：型号 ISA105-YZM12AG2，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。
- (9) 压磁式压力传感器：型号 PIE-501，量程 0~50kPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。
- (10) 靠背式探针：孔径 3mm.
- (11) 热线风速仪：型号 GM8903，风速范围 0~30m/s，风温范围 0~45℃，风量测量误差 ±3%.

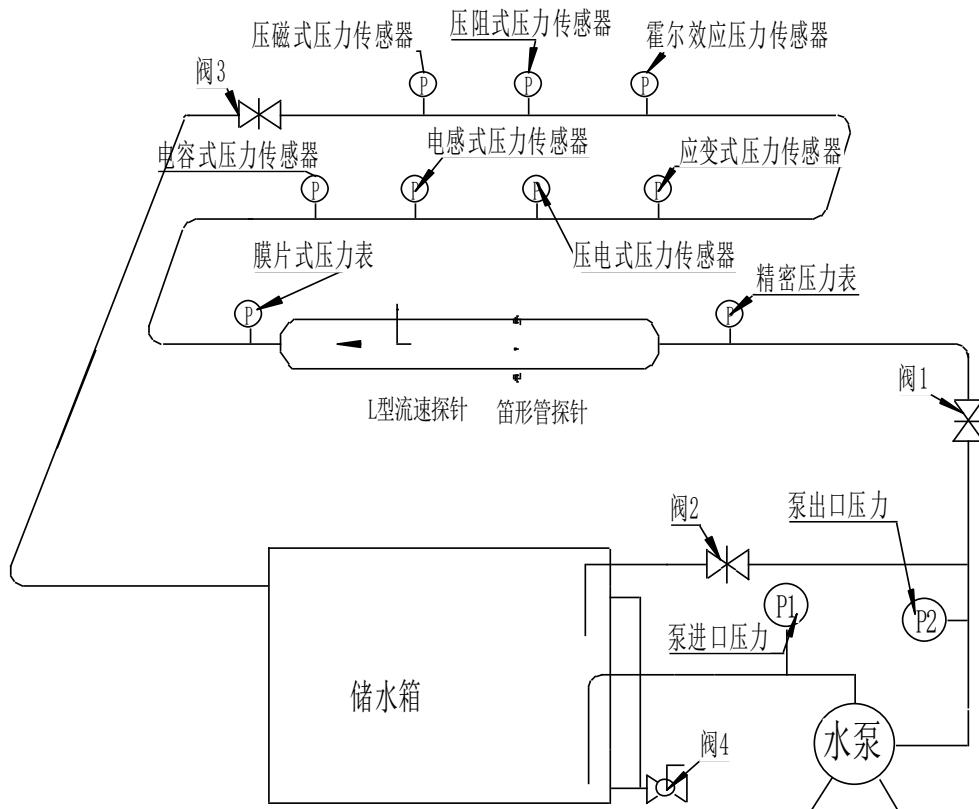


图 3 液体压力及流速测量实验系统流程图

液体压力及流速测量装置设备组成部件主要性能及参数如下：

- (1) 泵：不锈钢离心泵，型号 AMSm70/0.55，额定流量 4m³/h，最高压力 0.29MPa，额定功率 550W.
- (2) 膜片式压力计：指针式压力表，量程 0~1.0Mpa，精度 1.5 级。

(3) 应变式压力传感器：型号 ISA170-YBHAG2，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(4) 压电式压力传感器：型号 ISA103-YDM12AG4，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(5) 电感式压力传感器：型号 YSG-3，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(6) 电容式压力传感器：型号 ISA109-DRHAG2，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(7) 霍尔效应压力传感器：型号 HR-501，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(8) 压阻式压力传感器：型号 ISA105-YZM12AG4，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(9) 压磁式压力传感器：型号 PIE-501，量程 0~0.7MPa，信号电流：4~20mA，24V 供电，精度 0.1 级。

(10) 精密压力表：型号 YB-150，量程 0~1.0MPa。

(11) 压差传感器：型号 CCY16-H-05A-RS-34-B-G5，量程 0~20kPa，精度 0.25 级，带 RS485 通讯，24V 供电。

(12) 压差传感器：型号 CCY16-H-06B-RS-34-B-G5，量程 0~10kPa，精度 0.25 级，带 RS485 通讯，24V 供电。

(13) 压力传感器：型号 UZ-501T，量程 0~0.8MPa，赫斯曼系列，带 RS485 通讯，24V 供电，精度 0.1 级。

(14) 压力传感器：型号 UZ-501T，量程 -50~0kPa，赫斯曼系列，带 RS485 通讯，24V 供电，精度 0.1 级。

(15) 毕托管：L 型，规格 $\Phi 4 \times 100\text{mm}$

(16) 笛型管探针： $\Phi 3 \times 38\text{mm}$

(17) 水箱容积：60L

四、实验方法和步骤

1、气体压力及流速测量装置

(1) 关闭风机冷凝器排水阀 3，打开冷却水进水阀 2（逆时针旋转一定角度，不全开），打开水龙头（旋转 30° 左右）往冷凝器里注入冷凝水，观察有冷却水从冷却水出水管流出。

(2) 打开电源开关和触摸屏开关，启动触摸屏进入压力及流速测量软件。将阀 4 逆时针旋到最大，打开风机开关启动风机。

(3) 缓慢关闭阀 4 的开度，通过调节阀 4 的开度大小调节系统压力，使压力值达到设计工况，设计工况详见工况分组表。**注意：阀 4 不能全关，务必保证出口处有气流流出（可把手放到出口处，有气流通过）。**若阀 4 开度已经很小仍无法将实验工况调到设计值，可调节阀 5（顺时针旋转）进行压力调节。（可按膜盒式压力计上读数进行压力调节，压力值调整到设计工况附近即可）

(4) 系统稳定后（稳定时间 3~5min）进入数据采集界面，测量并采集各压力仪表及速度探针数据，每隔 1min 记录一次数据，最终测量值取 5 次连续读数的平均值。

(5) 实验结束后，关闭风机开关，退出软件，关闭触摸屏和电源开关，切断实验电源。

(6) 关闭水龙头及进水阀 2（顺时针旋转到头）切断冷却水进水，打开排放阀 3 排空管道和冷凝器中残留的液体，整理实验台。

2、液体压力及流速测量装置

(1) 打开电源开关和触摸屏开关，启动触摸屏进入压力及流速测量软件。将阀 2、阀 3 全开（逆时针旋到最大），排走管道内的气体。打开水泵开关启动离心泵。

(2) 关闭阀 2（顺时针旋到最大），缓慢关闭阀 3 的开度，通过调节阀 3 的开度大小调节系统压力，使压力值达到设计工况，设计工况详见工况分组表（**可按精密压力表的读数进行压力调节，压力值调整到设计工况附近即可。**）。

(4) 系统稳定后（稳定时间约 3~5min）进入数据采集界面，测量并采集各压力仪表数据，每隔 1min 记录一次数据。最终测量值取 5 次连续读数的平均值。

(5) 压力值记录完成后，打开 L 型毕托管和笛形管的压差计阀门，对测压管路进行排气，排气方法如下所述。

差压传感器排气方法：打开压差传感器连接阀 2 和传感器上排气阀 4，对差压传感器一侧管路进行排气（排气时间约 30S），关闭阀 2，打开阀 1、阀 3 进行压差传感器另一侧管路排气（排气时间约 30S）。测压管道排气完成后关闭阀 3 和阀 4，打开阀 2 开始进行实验。

注意：此处的 L 型毕托管和笛形管的压差计排气管路上阀门编号 1~4 为单独编号，不可与系统阀门编号 1~4 弄混。

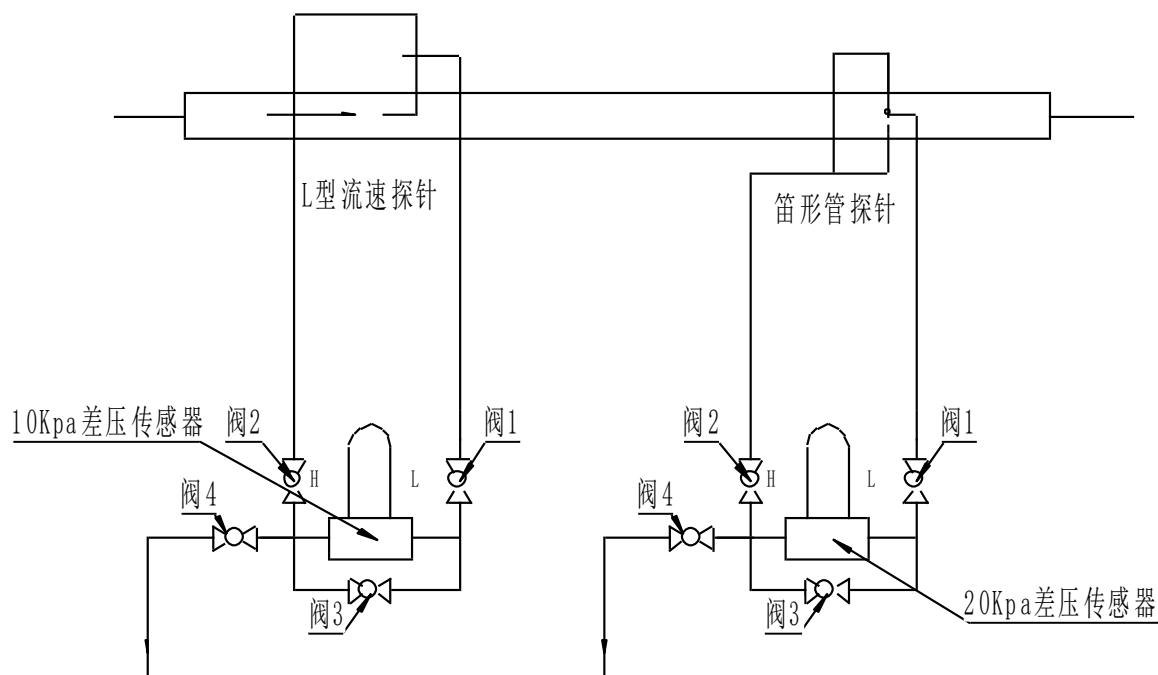


图 4 L 形速度探针和笛形管探针测压管线图

排气完成待系统稳定后分别读取 L 形速度探针和笛形管探针压差数值，每种速度探针连续 5 次读数，最终压差值取 5 次读数的平均值。速度计算公式中的压差值取 5 次压差读数值的平均值。测量完成后关闭压差传感器连接阀 1 和阀 2。注意：L 形和笛形管探针数据波动大，每次测量记录时取 1min 内的最大数值。

(6) 实验结束后，关闭水泵开关，退出软件，关闭触摸屏和电源开关，切断实验电源。

六、实验数据记录

压力及流速测量实验按小组分组号任选一套装置完成。其中组号为一、三、五、七、九的同学完成液体压力及流速测量实验，组号为二、四、六、八的同学完成气体压力及流速测量实验。详细的工况安排如下表 1。注意：气体压力及流速测量装置可与液体压力及流速测量装置仪表配置有所不同，实验时不要选错台架!!!

表 1 实验工况分组表

大组号	小组号	实验工况
一、三、五、七、九 (液体压力及流速测量实验)	A	工况 1: 50kPa
	B	工况 2: 100kPa
	C	工况 3: 150kPa
	D	工况 4: 200kPa
二、四、六、八	A	工况 1: 5kPa

(气体压力及流速测量实验)	B	工况 2: 10kPa
	C	工况 3: 15kPa
	D	工况 4: 20kPa

1、气体压力及流速测量实验

a) 实验数据记录

实验数据应取系统进入稳定状态后的连续 5 次读数（每次读数间隔 1min），并记录数据。

实验数据记录表-气体压力及流速测量实验

工况 仪表型号	工况_____ 压力_____kPa				
	1	2	3	4	5
膜盒式压力计 (kPa)					
应变式压力传感器 (kPa)					
压电式压力传感器 (kPa)					
电感式压力传感器 (kPa)					
电容式压力传感器 (kPa)					
压阻式压力传感器 (kPa)					
压磁式压力传感器 (kPa)					
霍尔效应压力传感器 (kPa)					
热线风速仪 (m/s)					
靠背式探针压差 (kPa)					
气体温度℃					

b) 流速计算

流速按式（1）计算，其中气体密度按测量的气体温度值查空气的热物性表获得。

c) 最大相对误差计算

最大相对误差按下式（2）计算：

$$\delta_{max} = \delta \frac{A_0}{A} \% \quad (2)$$

式中： δ 为仪表的精度等级， A_0 为仪表的量程， A 为测量仪表的读数，这里取 5 次测量值的平均值。各参数具体数值详见第三部分实验装置内容。

2、液体压力及流速测量实验

a) 实验数据记录

实验数据应取系统进入稳定状态后的连续 5 次读数（每次读数间隔 1min），并记录数据。

实验数据记录表-液体压力及流速测量实验

工况 仪表型号	工况_____ 压力_____MPa				
	1	2	3	4	5
膜片式压力计（MPa）					
精密压力计（MPa）					
应变式压力传感器（MPa）					
压电式压力传感器（MPa）					
电感式压力传感器（MPa）					
电容式压力传感器（MPa）					
压阻式压力传感器（MPa）					
压磁式压力传感器（MPa）					
霍尔效应压力传感器（MPa）					
毕托管探针压差（kPa）					
笛形管探针压差（kPa）					
液体温度℃					

b) 流速计算

流速按式（1）计算，其中液体密度按测量的液体温度值查水的热物性表获得。

d) 最大相对误差计算

同样，最大相对误差按式（2）进行计算。

注意：气体压力及流速测量实验装置各仪表配置与液体压力及流速测量实验装置各仪表配置略有不同，实验时按各自台架相应的的配置进行数据记录。

温度、压力、流量及流速测量实验预习报告

班级:_____ 姓名:_____ 实验日期:_____ 成绩:_____

一、温度测量及标定装置中一共用到哪些类型的温度计？简要描述各温度计的测量原理。（4分）

二、流量测量及标定装置中一共用到哪些类型的流量计？简要描述气体流量测量装置和液体流量测量装置中在仪表选型上的区别。（3分）

三、压力、流速测量装置中一共用到哪些类型的压力计和速度计？简要描述气体压力测量装置和液体压力测量在仪表选型上的区别。（3分）



华中科技大学
能源与动力工程学院
SCHOOL OF ENERGY AND POWER ENGINEERING
HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

2025 学年- 2026 学年第 一 学期 实验报告

实验名称：温度测量及标定实验、流量测量及标定实验、压力及流速测量实验

课程名称：工程测试技术实验

专业班级：

学号：

姓名：

教师签名：

成绩：

温度测量及标定、流量测量及标定、压力及流速测量实验报告

班级:_____ 姓名:_____ 实验日期:_____

一、课堂实践成绩（30分）

实践表现	满分	得分
实验预习	10	
考勤、课堂纪律	10	
实验操作	10	

二、温度测量及标定实验

2.1 数据记录：记录各温度计的读数。（5分）

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">仪表型号</div> <div style="margin-left: 10px;"> 工况_____ 温度_____℃ </div> </div>					
	1	2	3	4	5
标准水银温度计（℃）					
K 型热电偶电势（mV）					
E 型热电偶电势（mV）					
T 型热电偶电势（mV）					
Pt_{100} 热电阻值（Ω）					
Cu_{50} 热电阻值（Ω）					
双金属温度计（℃）					
压力式温度计（℃）					

2.2 与标准温度计比较，完成下表中各温度计的标准误差计算，并从仪表精度、实验工况，仪表量程等方面对各温度计的测量误差进行分析。（各项计算要有详细的计算过程）（15分）

说明：热电偶的测量平均值为测量的电势平均值（mV），温度测量值为各电势对应的温度值的平均值；热电阻的测量平均值为测量的电阻平均值（Ω），温度测量值为各电阻对应的温度值的平均值。

仪表型号	测量平均值	温度测量值（℃）	标准误差
标准水银温度计			
K 型热电偶			
E 型热电偶			
T 型热电偶			
Pt_{100} 热电阻			
Cu_{50} 热电阻			

双金属温度计		
压力式温度计		

三、流量测量及标定实验：☐气体 ☐液体流量测量及标定实验（气体/液体二选一）

3.1 数据记录：记录各流量计的读数，表格中用不上的数据直接划掉。（5分）

工况 仪表型号	工况_____ 流量_____ m ³ /h				
流量标定值 m ³ /h (_____ 流量计)					
_____ 流量计 m ³ /h					
_____ 流量计 m ³ /h					
_____ 流量计 m ³ /h					
_____ 流量计 m ³ /h					
_____ 流量计（压差）kPa					
毕托管（压差）kPa					
_____ 温度 °C					

3.2 与标定流量进行比较，完成下表中各流量计的标准误差计算，并从仪表精度、实验工况，仪表量程等方面对各流量计的测量误差进行分析。（各项计算要有详细的计算过程）（15分）

说明：压差流量计的测量平均值为测量的压差平均值（kPa），流量测量值为按各压差计算的流量值的平均值；毕托管的测量平均值为测量的压差平均值（kPa），流量测量值为按流速法计算的流量值的平均值。（表格中用不上的数据直接划掉）

仪表型号	测量平均值	流量测量值 (m ³ /h)	标准误差
流量标定值 (_____流量计)			
_____流量计			
_____流量计			
_____流量计			
_____流量计			
_____流量计			
流速法 (毕托管)			

四、压力及流速测量实验：☐气体 ☐液体压力及流速测量实验（气体/液体二选一）

4.1 数据记录：记录各压力计和速度计的读数，表格中用不上的数据直接划掉。（5分）

<div>工况</div> <div>仪表型号</div>	<div>工况_____ 压力_____MPa</div> <div>1 2 3 4 5</div>				
	1	2	3	4	5
_____压力计 (MPa)					
_____压力计 (MPa)					
_____压力传感器 (MPa)					
_____压力传感器 (MPa)					
_____压力传感器 (MPa)					
_____压力传感器 (MPa)					

_____ 压力传感器 (MPa)					
_____ 压力传感器 (MPa)					
_____ 压力传感器 (MPa)					
_____ 探针压差 (kPa)					
_____ 探针压差 (kPa)					
_____ 风速仪 (m/s)					
_____ 温度 °C					

4.2 完成下表中流速及各压力计的相对误差计算，并从仪表精度、实验工况，仪表量程等方面对各压力计的测量误差进行分析。（各项计算要有详细的计算过程）（15分）

说明：压力测量值为压力测量的平均值；流速测量平均值为压差测量的平均值，流速测量值为按对应压差计算的流速值的平均值。（表格中用不上的数据直接划掉）

仪表型号	压力测量值（MPa）		最大相对误差
_____压力计（MPa）			
_____压力计（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
_____压力传感器（MPa）			
仪表型号	测量平均值（kPa）	流速测量值（m/s）	
_____探针压差			
_____探针压差			
_____风速仪			

五、请在温度测量及标定实验装置、流量测量及标定实验装置、压力及流速测量实验装置中选择其中任意一套实验装置进行改造，至少提出3点改进建议和措施。（10分）