



CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

THE EXPERIMENT REPORT

工程流体力学实验报告

Author: 欧宇恒

Class: 交设 2105 班

ID: 8212210728

2024 年 1 月 14 日

目录

实验1 皮托管及伯努利方程应用实验	2
1.1 实验目的	2
1.2 实验原理	2
1.3 实验内容	3
1.4 实验结果	3
实验2 雷诺数测定实验	5
2.1 实验目的	5
2.2 实验原理	5
2.3 实验方法	5
2.4 实验结果	6
实验3 文丘里管实验	7
3.1 实验目的	7
3.2 实验原理	7
3.3 实验内容	7
3.4 实验结果	8

实验1 皮托管及伯努利方程应用实验

1.1 实验目的

1. 学习皮托管的使用方法；
2. 增强对伯努利方程的理解和认识。

1.2 实验原理

1. 伯努利方程

流体在忽略粘性损失的流动中，流线上任意两点的压力势能、动能与势能之和保持不变。

这个理论是由瑞士数学家丹尼尔·伯努利在 1738 年提出的，被称为伯努利原理。重力场中无粘性定常绝热流动的能量方程称为伯努利定理，或称为伯努利方程，是流体动力学基本方程之一，其表达形式为：

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = C \quad (1)$$

其中， C 为常数。

2. 皮托管

皮托管是测量气流总压和静压以确定气流速度的一种管状装置，由法国 H. 皮托发明而得名。皮托管构造如图1所示，头部为半球形，后为一双层套管。测速时头部对准来流，头部中心处小孔（总压孔）感受来流总压 p_0 ，经内管传送至压力计。

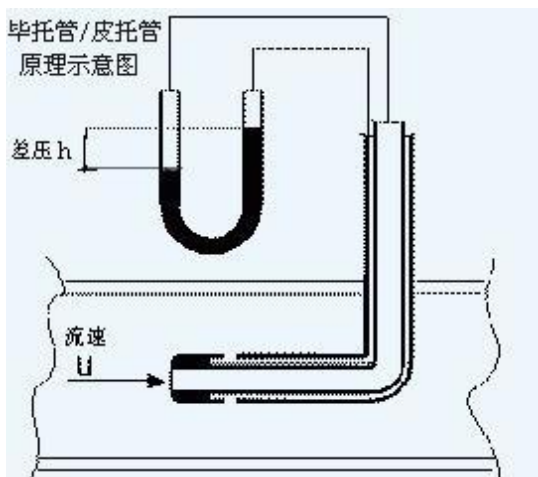


图 1: 皮托管原理示意图

头部约 $3 \sim 8D$ 处的外套管壁上均匀地开有一排孔（静压孔），感受来流静压 p ，经外套管也传至压力计。

皮托管常用在测量通风管道、工业管道、炉窑烟道内的气流速度，通过换算来确定流量，也可测量管道内的水流速度。用皮托管测速来确定流量，有可靠的理论依据，使用起来方便、准确，是一种经典的广泛的测量方法。此外，它还可用于测量流体的压力。

1.3 实验内容

1. 控制水量调节阀，分别调出高中低三种水流速度；
2. 在每一种速度下，用皮托管测量出水管内的动压；
3. 用量杯和秒表测量水管内的真实流量；
4. 分别计算出两种不同方法的测量结果并比较，讨论皮托管测量流速的优势和不足。

1.4 实验结果

实验小组通过量杯与秒表粗略测量了玻璃管中流体流速，以 500mL 作为基准容积，测量了三组时间并取平均值以表示最终流量，减少实验误差，实验数据见表1所示。

表 1: 量杯与秒表测量数据

实验次数	量杯测量容积/mL	测量时间/s	流量 Q /(mL/s)	Q 均值/(mL/s)
1	500	3.08	162.33	163.4
2		3.18	157.23	
3		2.93	170.64	

通过皮托管实验仪器测得，1 管（总压管）液面高度为 $h_1 = 324\text{mm}$ ，2 管（静压管）液面高度为 $h_2 = 265\text{mm}$ ，液面高度差 $\Delta h = 59\text{mm}$ ，由伯努利方程：

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (2)$$

由于在本实验中， $P_1 = \rho gH_1$, $P_2 = \rho gH_2$, $h_1 = h_2$, $v_1 = 0$ ，因此：

$$v_2 = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 59 \times 10^{-3}} = 1.07\text{m/s} \quad (3)$$

由于实验玻璃管内径为 14mm，故根据量杯与秒表计算出的流速为：

$$v_{\text{测量}} = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = 1.06\text{m/s} \quad (4)$$

测量误差为：

$$\delta = \frac{v_2 - v_{\text{测量}}}{v_2} = 0.9\% \quad (5)$$

通过计算可以发现，本组量杯与秒表的测量结果与皮托管测量结果符合较好，实验误差仅达0.9%，说明皮托管可以有效地测量玻璃管中水流流速，但经过小组同学讨论后，我们发现皮托管有优势，也有不足，现列举如下。

优势：

皮托管便捷小巧，结构简单，方便使用，价格低廉，只要在制造精度要求范围内，可以达到较高的测量精度；

劣势：

1. 用皮托管测流速时，皮托管本身对流场会产生扰动，这是使用这种方法测流速的一个缺点；
2. 实验时必须首先将皮托管及橡皮管内的空气完全排出，然后将皮托管的下端放入水流中，并使总压管的进口正对测点处的流速方向，但在实际应用中，对实验器具的气密性要求高，正对测点处的流速方向也不易实现。

实验2 雷诺数测定实验

2.1 实验目的

1. 观察水的层流和紊流的形态和特征；
2. 学习测量和计算流体的雷诺数和临界雷诺数。

2.2 实验原理

雷诺数是流体惯性力 $\frac{\rho v^2}{L}$ 与粘性力 $\frac{\mu v}{L}$ 的比值，它是一个无因次化的量，具体计算公式为：

$$\text{Re} = \frac{\frac{\rho v^2}{L}}{\frac{\mu v}{L}} = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (6)$$

雷诺数较小时，粘滞力对流场的影响大于惯性力，流场中流速的扰动会因粘性力而衰减，流体流动稳定，为层流；反之，若雷诺数较大时，惯性力对流场的影响大于粘滞力，流体流动较不稳定，流速的微小变化容易发展、增强，形成紊乱、不规则的紊流流场。

流体在层流、过渡状态与湍流三种状态下的表现如图2所示。

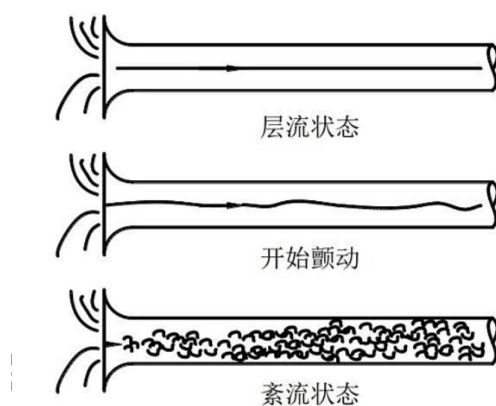


图 2: 流体在三种不同状态下流动表现

2.3 实验方法

1. 缓慢调节水量控制阀，观察透明水管中红色水流线的变化观察水的层流态，紊流态特征；
2. 找出层流和紊流转换临界点，在临界点测量水的流速，往复测量三次；
3. 根据测量数据计算出水的临界雷诺数。

2.4 实验结果

实验小组通过量杯与秒表粗略测量了临界状态下玻璃管中流体流速，以 500mL 作为基准容积，测量了三组时间并取平均值以表示最终流量，减少实验误差，实验数据见表2所示

表 2: 量杯与秒表测量数据

实验次数	量杯测量容积/mL	测量时间/s	流量 Q /(mL/s)	Q 均值/(mL/s)
1	500	10.34	48.35	48.62
2		10.21	48.97	
3		10.30	48.54	

本实验中，玻璃管内径为 14mm，水流特征长度 $L = D = 14\text{mm}$ ，故可以得到临界流速 v_0 。

$$v_0 = \frac{4Q}{\pi D^2} = 0.32\text{m/s}$$

查表得到，水在标准大气压和室温内的动力粘度 $\mu = 1.01 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ ，因此可计算出临界雷诺数为：

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{1.0 \times 10^3 \times 0.32 \times 14 \times 10^{-3}}{1.01 \times 10^{-3}} = 4435$$

在实验中，本小组成员通过调节阀门观察红色水流在玻璃管内的流动状态，找到红色水流从层流变化至紊流的临界状态，并通过量杯与秒表记录此时的水流流速，再代入公式计算实验测得的临界雷诺数。

通过查阅资料可知，水的临界雷诺数为 2300，本组实验与真实数据偏差较大，经过本组成员分析后得到可能存在的误差有以下几点：

1. 量杯与秒表在接水时，由于人工读数与及计时造成的误差，通过量杯测得的水流速与真实值有一定的误差；
2. 由于水从层流变化至紊流为渐变的、不明显的过渡过程，实验人员较难用肉眼分辨变化的临界状态，导致在确定过渡状态时存在较大的误差，也正是这个原因导致实验偏差与真实值偏差较远。

实验3 文丘里管实验

3.1 实验目的

观察文丘里效应，学习文丘里管测量流量的原理和方法。

3.2 实验原理

文丘里效应，以其发现者，意大利物理学家文丘里 (Giovanni Battista Venturi) 命名。这种效应是指在高速流动的气体附近会产生低压，从而产生吸附作用。利用这种效应可以制作出文氏管。

因为其制造和维护成本比较低，文丘里管在现今科技发展中得到广泛应用，文丘里管的结构构造如图3所示。

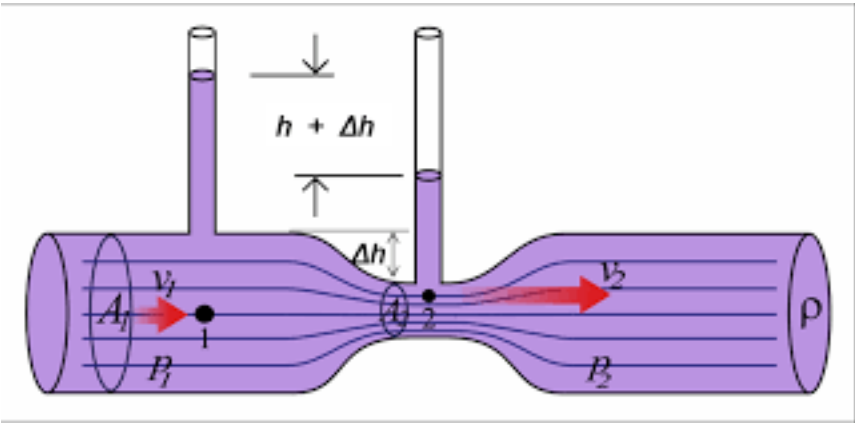


图 3: 文丘里管构造

其测量原理为:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \zeta \quad (7)$$

基于文丘里效应制造的设备设施，叫做文丘里 XXX，如文丘里水膜除尘器、文丘里扩散管、文丘里收缩管、文丘里喷射泵、文丘里流量计等。

3.3 实验内容

1. 认识文丘里管、并观察透明文丘里管内水流产生的文丘里效应；
2. 通过调节流量控制阀，设定高中低三种水流速度，分别测量对应流速下文丘里管的最大压差，并且用量杯和秒表分别测量水流的真实流量；

3. 通过用文丘里管和伯努利方程计算出水流速度，与用量杯秒表测量的真实流速对比，评估文丘里管测量流量的准确性，讨论消除误差的方法。

3.4 实验结果

实验小组通过量杯与秒表粗略测量了高中低三种流速下玻璃管中流体流量，以 500mL 作为基准容积，测量了三组时间并取平均值以表示最终流量，减少实验误差，实验数据见表3所示。

表 3: 高中低三种流速状态下测得的水流流量

高流速状态下量杯与秒表测量数据

实验次数	量杯测量容积/mL	测量时间/s	流量 Q /(mL/s)	Q 均值/(mL/s)
1	500	4.14	120.77	118.98
2		4.17	119.90	
3		4.30	116.27	

中流速状态下量杯与秒表测量数据

实验次数	量杯测量容积/mL	测量时间/s	流量 Q /(mL/s)	Q 均值/(mL/s)
1	500	8.11	61.65	61.35
2		8.27	60.45	
3		8.07	61.95	

低流速状态下量杯与秒表测量数据

实验次数	量杯测量容积/mL	测量时间/s	流量 Q /(mL/s)	Q 均值/(mL/s)
1	500	12.35	40.48	39.57
2		12.99	38.49	
3		12.58	39.74	

在每组实验条件下，测得的两管中液面高度如表4所示。

表 4: 三种实验条件下液面高度差数据

实验条件	h_1 /mm	h_2 /mm	Δh /mm
高流速	333	50	283
中流速	386	311	75
低流速	395	365	30

在本次实验中，管径 $d_1 = 14\text{mm}$ ，喉管直径为 $d_2 = 8\text{mm}$ ，可计算出两截面面积为 $A_1 = 153.93\text{mm}^2$ ， $A_2 = 50.27\text{mm}^2$ ，由伯努利方程可得：

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

由流体连续性方程有：

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

解得：

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

解得三种实验条件下的流速如表5所示。

表 5: 三种实验条件下文氏管测量流速

实验流速	$v_2/(\text{m/s})$	量杯测量流速/ (m/s)	误差
高流速	0.79	0.77	2.3%
中流速	0.41	0.39	1.8%
低流速	0.25	0.26	1.3%

由实验数据可以看出，文氏管能够准确地测量流速，并且能够将误差控制在较小的范围内，本小组经过讨论后发现，误差主要产生在液面读数与量杯测量流速二者间，可以使用标准仪器代替人工的不精确测量，同时提高液面读数的精度，即可在一定程度上消除误差。