



哈尔滨工业大学（深圳）

Harbin Institute of Technology, Shenzhen

# 实验报告

开课学期: \_\_\_\_\_

课程名称: \_\_\_\_\_

实验名称: \_\_\_\_\_

实验性质: \_\_\_\_\_

实验时间: \_\_\_\_\_ 地点 \_\_\_\_\_ 台号 \_\_\_\_\_

学生专业: \_\_\_\_\_

学生学号: \_\_\_\_\_

学生姓名: \_\_\_\_\_

指导教师: \_\_\_\_\_

评 分: \_\_\_\_\_

实验与创新实践教育中心印制

2020 年 7 月

## 实验报告撰写要求

- 1. 预习实验要求：**该次实验课前需预习实验指导书，并完成本实验报告中实验目的、实验原理、思考题和实验内容部分的撰写，完成实验后记录实验结果讨论部分。
- 2. 实验报告要求：**详细记录实验原始数据；完成对实验数据的分析和整理，解释实验现象和实验结果，认真回答思考题。
- 3. 实验报告提交要求：**①该次实验课前，将空白实验报告按要求装订，在封面上写上姓名及学号。②实验课中，写上实验台号，并记录原始数据。③实验课后，完成实验报告，并在规定时间内提交，地点：K 栋 524/525。（请班长统一收取本班所有同学的实验报告，并按学号排序）

**温馨提示：**实验报告撰写过程中如遇预留空白不足，请在该页背面空白接续。

教师	姓名
签字	

## 文丘里综合型实验

### 1、实验目的与要求

- (1) 了解文丘里流量计的构造、原理和适用条件，率定流量因数 $\mu$ ;
- (2) 掌握应用气~水多管压差计量测压差的方法;
- (3) 通过实验与量纲分析，了解应用量纲分析与实验结合研究水力学问题的途径，进而掌握文丘里流量计水利特性。

### 2、实验装置

实验装置及各部分名称如图 1 所示。

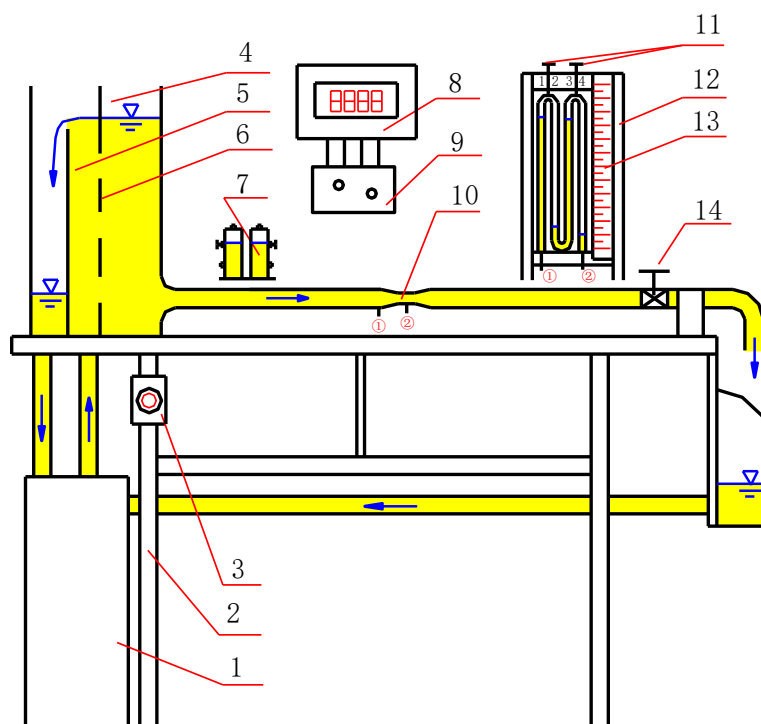


图 1 文丘里综合型实验装置图

1. 自循环供水器 2. 实验台 3. 水泵电源开关 4. 恒压水箱 5. 溢流板
6. 稳水孔板 7. 稳压筒 8. 智能化数显流量仪 9. 传感器 10. 文丘里流量计
11. 压差计气阀 12. 压差计 13. 滑尺 14. 实验流量调节阀

文丘里流量计结构与布置（参图 2）。在结构上，要求管径比  $d_2/d_1$  在 0.25~0.75 之间，通常采用  $d_2/d_1=0.5$ ；其扩散段的扩散角 $\theta_2$ 也不宜太大，一般不大于  $5^\circ\sim 7^\circ$ ；在测量断面上布置多个测压孔和均压环。在布置上，要求文丘里流量计上游  $l_1$  在 10 倍管径  $d_1$  的距离以内，下游  $l_2$  在 6 倍管径  $d_1$  以内，均为顺直管段，以免水流产生漩涡而影响其流量因数。

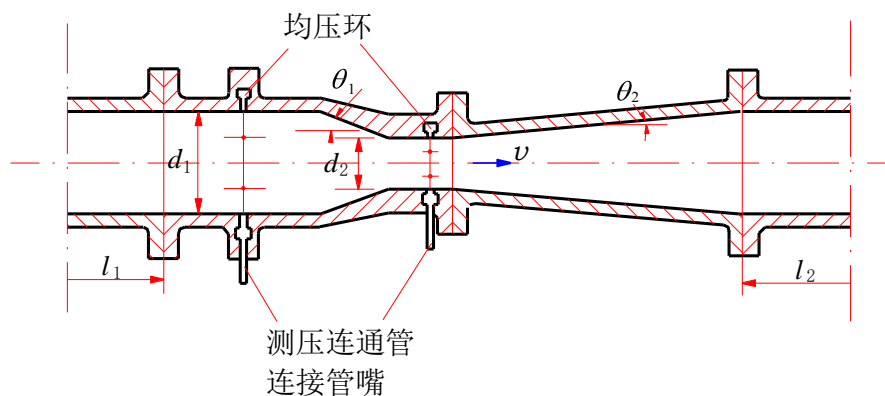


图2 文丘里流量计结构图

文丘里流量计结构参数。本实验装置中 $\theta_2=3.45^\circ\pm 0.1^\circ$ ； $d_1=(1.4\pm 0.03)\times 10^{-2}\text{ m}$ ； $d_2=(0.7\pm 0.015)\times 10^{-2}\text{ m}$ ； $d_2/d_1=0.5\pm 0.015$ ； $l_1=0.45\text{ m}$ ； $l_2=0.54\text{ m}$ ，各均压环上测压孔数为4个。

气-水压差计为一倒U型管如图3所示，在倒U型管中保留一段空气，两端各接测压点，测量时，管内液柱的高差即为压强差。在测量中，气-水压差计应该竖直放置。当数值相对较大时，可用连续串联多个气-水压差计的方法来增大量程；数值较小时可倾斜U型管来放大测量值。本实验装置中，采用双U型的气-水多管压差计，如图1中的压差计12所示，压差量程为0~1 m H<sub>2</sub>O，测量精度为1 mm。

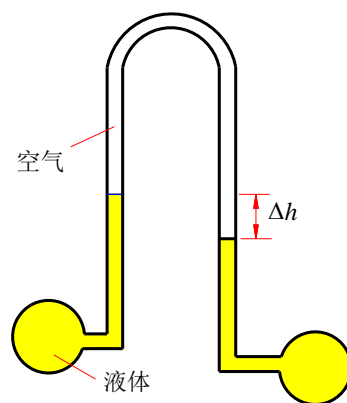


图3 气-水压差计

流量测量——智能化数显流量仪：智能化数显流量仪系统包括实验管道内配套流量计、稳压筒、高精度传感器和智能化数显流量仪（含数字面板表及A/D转换器）。该流量仪为管道式瞬时流量仪，测量精度一级。流量仪的使用方法参见伯努利方程实验，需先排气调零，流量仪所显示的数值为瞬时流量值。

### 3、实验原理

文丘里流量计是管道流量测量仪器，它由收缩段、喉道、扩散段组成。由于喉道断面收缩，断面平均流速加大动能变大，势能减小，则喉道的测压管水头与收缩段进口处的测压管水头便产生了水头差 $\Delta h$ ，该水头差 $\Delta h$ 与通过的流量 $q_v'$ 存在着一个正比关系， $q_v' = \mu K \sqrt{\Delta h}$ ， $K$ 、 $\mu$ 均为系数。故只需测出 $\Delta h$ ，就可知流量 $q_v'$ 。

根据能量方程和连续性方程式，可得不计阻力作用时的文氏管过水能力关系式

$$q_v' = \frac{\frac{\pi}{4} d_1^2}{\sqrt{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 - 1}} \sqrt{2g \left[ \left( z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right) \right]} = K \sqrt{\Delta h}$$

$$K = \frac{\pi}{4} d_1^2 \sqrt{2g} / \sqrt{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 - 1}$$

$$\Delta h = \left( z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right)$$

式中： $\Delta h$ 为两断面测压管水头差；

$K$ 为文丘里流量计常数，对给定管径是常数。

由于阻力的存在，实际通过的流量 $q_v$ 恒小于 $q_v'$ 。今引入一个无量纲因数 $\mu = q_v / q_v'$ （ $\mu$ 称为流量因数），对计算所得流量值进行修正。

即

$$q_v = \mu q_v' = \mu K \sqrt{\Delta h}$$

另由静水力学基本方程可得气—水多管压差计的 $\Delta h$ 为

$$\Delta h = h_1 - h_2 + h_3 - h_4$$

$h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ 分别为图1中双U型的气-水多管压差计（见12）4个管1、2、3、4中液面的高度。

### 4、实验步骤

（1）测记各有关常数。

（2）排气。打开开关供水，使水箱充水，待水箱溢流，间歇性全开、全关管道出水阀数次，直至连通管及实验管道中无气泡滞留即可，排气后测管液面读数 $h_1 - h_2 + h_3 - h_4$ 为0，即1、2、3、4号测压管同高，此时智能化数显流量仪显示为零。

(3) 调节多管测压计。全开调节阀 14 检查各测管液面是否都处在滑尺读数范围内？否则，按下列步序调节：(a) 关阀 14，拧开气阀 11，待各测压管中液位稳定后，将清水注入压差计 12 中编号为 2、3 的测管内，使  $h_2=h_3\approx 0.24\text{ m}$ ；(b) 拧紧气阀 11，全开阀 14，若压差计 12 中编号为 1、3 的测压管液面上升过高，可微微松开相应的气阀 11，液面将自动降低，可使测管读数控制在测读范围内，速拧紧气阀 11 即可。

(4) 测压管水头差  $\Delta h$  测量。全开调节阀 14，使测压管最高和最低液面在滑尺范围内差值最大，待水流稳定后，读取气—水多管压差计 12 各测压管的液面读数  $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $h_4$ ， $\Delta h = h_1 - h_2 + h_3 - h_4$ ，并记录智能化数显流量计的流量值。

(5) 逐次关小调节阀 14（以其中一根测压管的水位变化  $0.5\sim 1.0\text{ cm}$  为宜），改变流量 7~9 次，重复步骤 4，注意调节阀门应缓慢。

(6) 把测量值记录在实验表格内，并进行有关计算。

(7) 如测管内液面波动时，应取时均值。

(8) 实验结束时，需按步骤 2 校核压差计是否回零。

## 5、数据处理及成果要求

(1) 记录有关信息及实验常数

实验设备名称：\_\_\_\_\_ 实验台号：\_\_\_\_\_

实 验 者：\_\_\_\_\_ 实验日期：\_\_\_\_\_

$d_1 = \underline{\hspace{1cm}} \times 10^{-2}\text{m}$      $d_2 = \underline{\hspace{1cm}} \times 10^{-2}\text{m}$     水温  $t = \underline{\hspace{1cm}}^\circ\text{C}$ ,

$$\nu = \frac{0.01775 \times 10^{-4}}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} = \underline{\hspace{1cm}} \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s},$$

水箱液面高程  $\nabla_0 = \underline{\hspace{1cm}} \times 10^{-2}\text{m}$     管道轴线高程  $\nabla_z = \underline{\hspace{1cm}} \times 10^{-2}\text{m}$

（基准面选在标尺的零点上）

(2) 实验数据记录及计算结果（参表 1，表 2），用方格绘制  $q_v \sim \Delta h$ ， $\text{Re} \sim \mu$  曲线图，取  $\Delta h$  为纵坐标。

(3) 成果要求

按相关实验项目的要求，完成方案设计、测量与成果分析。

## 6、实验分析与讨论

- (1) 文丘里流量计有何安装要求和适用条件？
- (2) 本实验中，影响文丘里流量计流量因数大小的因素有哪些？哪个因素最敏感？对本实验的管道而言，若因加工精度影响，误将  $(d_2 - 0.01) \times 10^{-2} \text{m}$  值取代上述  $d_2$  值时，本实验在最大流量下的  $\mu$  值将变为多少？
- (3) 为什么计算流量  $q_v'$  与实际流量  $q_v$  不相等？
- (4) 应用量纲分析法，阐明文丘里流量计的水力特性。
- (5) 文丘里流量计管喉颈处容易产生真空，最大允许过流量受真空度限制，最大允许真空度为  $6 \sim 7 \text{ m H}_2\text{O}$ ，否则易造成空化与空蚀破坏。工程上应用文丘里流量计时，应检验其最大真空度是否在允许范围之内。

本实验要求通过理论分析，设计实验方案，针对图 1 实验装置，通过实验测量相应参数，确定文丘里流量计真空值不大于  $6 \text{ m H}_2\text{O}$  条件下供水箱的最大作用水头  $H_0$  及最大流量  $q_v$ 。

理论分析提示：

应用伯努利方程，选基准面和计算断面如图 4，取  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$ 。对计算断面 1-1 与 3-3 有

$$H_0 = -h + (1 + \zeta_{1-3}) \frac{1}{2g} \left( \frac{4q_v}{\pi d_1^2} \right)^2 \quad (1)$$

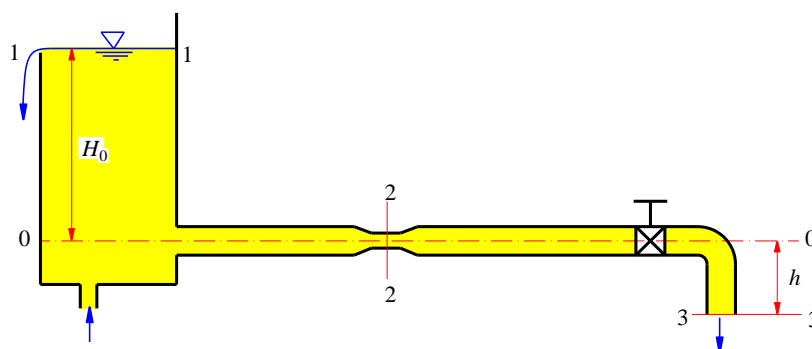


图 4 文丘里流量计管流水力计算

对计算断面 2-2，3-3，有

$$\frac{p_2}{\rho g} + \frac{1}{2g} \left( \frac{4q_v}{\pi d_2^2} \right)^2 = -h + (1 + \zeta_{2-3}) \frac{1}{2g} \left( \frac{4q_v}{\pi d_1^2} \right)^2 \quad (2)$$

根据经验，式中管段的总水头损失因数  $\zeta_{1-3}$  和  $\zeta_{2-3}$  在流速达到某一较大值以

上时便近似为常数，可在阀门全开的大流量下实验测得。进而由断面的允许真空度  $\frac{p_2}{\rho g}$  及  $\zeta_{1-3}$ 、 $\zeta_{2-3}$  等值代入式(1)、(2)便可确定最大作用水头  $H_0$  及最大流量  $q_v$ 。



表 1 记录表

次数	测压管读数 ( $10^{-2}\text{m}$ )				流量 $q_v$ /( $10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ )
	$h_1$ / $10^{-2}\text{m}$	$h_2$ / $10^{-2}\text{m}$	$h_3$ / $10^{-2}\text{m}$	$h_4$ / $10^{-2}\text{m}$	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

表 2 计算表

 $K = \underline{\hspace{2cm}} \times 10^{-5} \text{m}^{2.5}/\text{s}$ 

次数	$q_v$ /( $10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ )	$\Delta h = h_1 - h_2 + h_3 - h_4$ / $10^{-2}\text{m}$	$Re$	$q_v' = (K\sqrt{\Delta h})$ /( $10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ )	$\mu = \frac{q_v}{q_v'}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

