

# 《水力学》课程 实验指导书及实验报告

专业名称\_\_\_\_\_

课程名称\_\_\_\_\_

学生姓名\_\_\_\_\_

学生班级\_\_\_\_\_

学 号\_\_\_\_\_

任课教师\_\_\_\_\_

实验日期：       年   月   日

交报告日期：    年   月   日

同组者：

长安大学环境科学与工程学院

市政与暖通实验中心

# 实验课规则

- 1、每次实验必须按时到达。
- 2、实验课之前必须预习有关实验内容，对实验目的及原理、设备图、操作步骤和方法，务须了解清楚。
- 3、实验前由指导教师抽问，对有关问题如答复不正确，不准参加操作，直至了解清楚为止。
- 4、实验时应听从指导人员指导，实验组要协调一致，同学轮流担任各种工作，务须每人均能认真动手操作，了解实验各项内容。对贵重、精密仪器应在教师直接指导下进行操作。
- 5、在实验室中要专心致志，不要高声喧哗，并禁止吸烟，以保持良好的实验课秩序和环境卫生。
- 6、实验记录数据在实验结束前应交指导教师查阅，经教师认可后方为有效，如果实验结果误差太大，应查明原因重做。
- 7、应爱护公物，若仪器和设备有破损时应立即报告指导教师，听候处理（按实验室管理制度办理）。
- 8、实验报告的内容一般应当包括实验目的、原始记录及计算、结论、对实验讨论题的分析等。关于实验原理、设备图，实验步骤等因指导书已有，为节省时间，可不在实验报告中重复。
- 9、作实验报告时，除原始记录数据外，其余由各人自行计算分析和作出结论，不得互相抄袭，并按时送交报告。
- 10、不得无故缺席，否则不能参加本课程的考试或考查。因故缺席者，须在实验前或后持证明报告教师，请示补作办法，否则以无故缺席论

# 实验一 静水压强实验

## 1.1 实验目的和要求

1. 掌握用测压管测量静水压强的方法，通过对水静力学现象的实验分析，加深理解水静力学方程的物理意义和几何意义，提高解决实际问题的能力。

2. 观察在重力作用下液体中任意点的位置水头  $z$ 、压强水头  $p/\gamma$  和测压管水头  $z + p/\gamma$ ，验证不可压缩流体静力学的基本方程；

3. 测量当  $p_0 = p_a$ 、 $p_0 > p_a$  和  $p_0 < p_a$  时静水中某一点的压强，分析各测压管水头的变化规律，加深对绝对压强、相对压强、表面压强、真空压强和真空度的理解；

4. 学习测量液体比重的方法；

## 1.2 静水压强实验的原理

在重力作用下，处于静止状态下不可压缩的均质液体，其基本方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = \dots = C \quad (1-1)$$

式中， $z$  为单位重量液体相对于基准面的位置高度或称位置水头； $p/\gamma$  为单位重量液体的压能或称压强水头； $p$  为静止液体中任意点的压强； $\gamma$  为水的重度； $z + p/\gamma$  称为测压管水头。

方程 (1-1) 的物理意义是：静止液体中任一点的单位位能和单位压能之和为一常数，而  $z + p/\gamma$  表示单位重量液体具有的总势能，因此也可以说，在静止液体内部各点的单位重量液体的势能均相等。几何意义是：静止液体中任一点的位置高度和该点压强的液柱高度之和为一常数。

静水压强方程也可以写成

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-2)$$

式中， $p_0$  为作用在液体表面的压强； $h$  为由液面到液体中任一点的深度。上式说明，在静止液体中，任一点的静水压强  $p$ ，等于表面压强  $p_0$  加上该点在液面下的深度  $h$  与液体容重  $\gamma$  的乘积之和。表面压强遵守巴斯加原理，等值地传递到液体内部所有各点上，所以当表面压强  $p_0$  一定时，由式 (1-2) 可知，静止液体中某一点的静水压强  $p$  与该点在液面下的深度  $h$  成正比。

如果作用在液面上的是大气压强  $p_a$ ，则式 (1-2) 可写为

$$p = p_a + \gamma h \quad (1-3)$$

上式说明当作用在液面上的压强为大气压强时，其静水压强等于大气压强  $p_a$  与液体重

度  $\gamma$  和水深  $h$  乘积之和。这样所表示的一点压强叫做绝对压强（当液面上压强不等于大气压强时以  $p_0$  表示）。绝对压强是以没有气体存在的绝对真空为零来计算的压强；如果以当地大气压强为零来计算的压强称为相对压强，可以表示为

$$p = \gamma h \quad (1-4)$$

相对压强也叫表压强，所以表压强是以大气压强为基准算起的压强，它表示一点的静水压强超过大气压强的数值。

如果某点的静水压强小于大气压强，我们就说“这点具有真空”。其真空压强  $p_v$  的大小以标准大气压强和绝对压强之差来量度，即

$$p_v = \text{大气压强} - \text{绝对压强} \quad (1-5)$$

当某点发生真空时，其相对压强必然为负，故把真空又称为负压，真空度也就等于相对压强的绝对值。

### 1.3 静水压强实验的仪器

静水压强实验仪由盛水密闭圆筒容器、连通管、测压管、U形管、气门、调压筒和底座组成，如图 1-1 所示。U形管中可以装入不同种类的液体，以测定不同种类液体的比重。

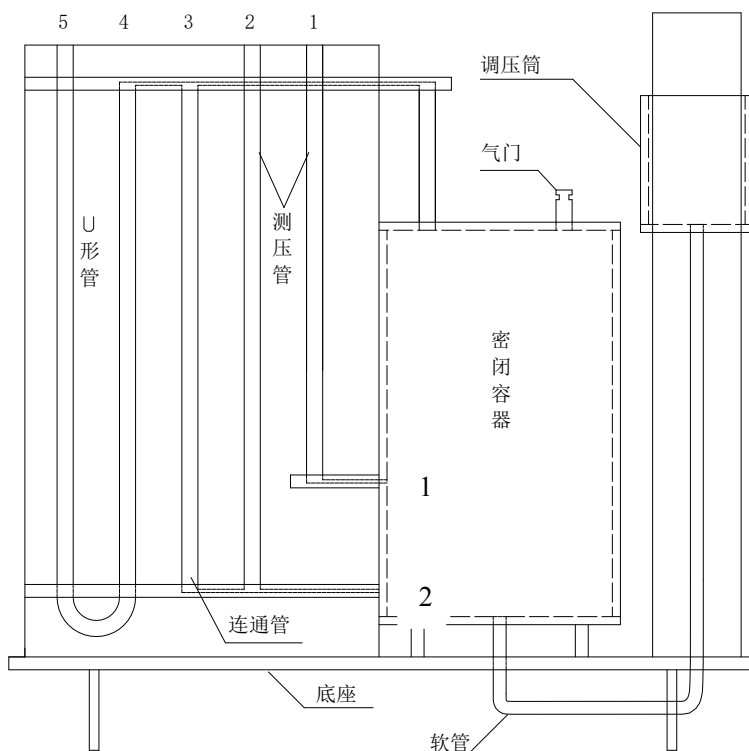


图 1-1 静水压强实验仪

### 1.4 静水压强实验的方法步骤

1.在 U 形管中装入需要量测重度的液体，可以是油或者是其它液体。

2.了解仪器组成及其用法，包括加压方法、减压方法。检查仪器是否密封，检查的方法是关闭气门，在调压筒中盛以一定深度的水，将调压筒上升高于密闭圆筒容器，待水面稳定后，看调压筒中的水面是否下降，若下降，表明漏气，应查明原因加以处理。

3.记录仪器编号及各测压管编号，选定基准面，记录基准面到各测压点的高度,即密闭圆筒容器侧面 1、2 两点的位置水头  $z_1$ ， $z_2$ 。

4.打开密闭圆筒容器上的气门，使箱内液面压强  $p_0 = p_a$ ，记录密闭圆筒容器水位高度及 1、2、3、4、5 测压管水面高度，记入表 1-1 中  $H_0$ 、 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ 、 $H_5$ 。

5.关闭气门，升高调压筒，使箱内液面压强  $p_0 > p_a$ ，待水面稳定后，观测 1、2、3、4、5 测压管水面高度，记入表 1-1 中  $H_0$ 、 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ 、 $H_5$ ，改变调压筒位置，重复一次，注意保持  $p_0 > p_a$ ，共两组数据，记入表 1-1。

6.降低调压筒，使箱内液面压强  $p_0 < p_a$ ，待水面稳定后，观测 1、2、3、4、5 测压管水面高度，记入表 1-1 中  $H_0$ 、 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ 、 $H_5$ ，改变调压筒位置，重复一次，注意保持  $p_0 < p_a$ ，共两组数据，记入表 1-1。

7.实验完后将仪器恢复原状。

### 1.5 数据处理和成果分析

实验设备名称

仪器编号

#### 1.实验数据记录

已知数据  $z_1 =$                       mm                       $z_2$                       mm

表 1-1

| 项 目         | $H_0$<br>(mm) | $H_1$<br>(mm) | $H_2$<br>(mm) | $H_3$<br>(mm) | $H_4$<br>(mm) | $H_5$<br>(mm) |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $p_0 = p_a$ |               |               |               |               |               |               |
| $p_0 > p_a$ |               |               |               |               |               |               |
|             |               |               |               |               |               |               |
| $p_0 < p_a$ |               |               |               |               |               |               |
|             |               |               |               |               |               |               |

#### 2.计算参考表格:

表 1-2

| 项 目         | $\frac{p_1}{\gamma}$<br>(cm) | $\frac{p_2}{\gamma}$<br>(cm) | $\frac{p_3}{\gamma}$<br>(cm) | $\frac{p_4}{\gamma}$<br>(cm) | $\frac{p_5}{\gamma}$<br>(cm) | $\Delta h_1$<br>(cm) | $\Delta h_2$<br>(cm) | $\frac{p_0}{\gamma}$<br>(cm) | $z_1 + \frac{p_1}{\gamma}$<br>(cm) | $z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$<br>(cm) | $\gamma_{\text{油}}$<br>kg/m <sup>3</sup> |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| $p_0 = p_a$ |                              |                              |                              |                              |                              |                      |                      |                              |                                    |                                    |  |
| $p_0 > p_a$ |                              |                              |                              |                              |                              |                      |                      |                              |                                    |                                    |  |
| $p_0 < p_a$ |                              |                              |                              |                              |                              |                      |                      |                              |                                    |                                    |  |

$$\text{注: } \Delta h_1 = \frac{p_2 - p_3}{\gamma}; \quad \Delta h_2 = \frac{p_5 - p_4}{\gamma}$$

3.由表中计算的  $z_1 + \frac{p_1}{\gamma}$  和  $z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$  , 验证静水压强方程。

4.由表中的  $\frac{p_0}{\gamma}$  计算圆筒容器内水的表面压强, 即  $p_0 = \gamma \times \frac{p_0}{\gamma}$

5.计算当  $p_0 > p_a$  时 1#和 2#测点的绝对压强和  $p_0 < p_a$  时容器内的真空度。

6.计算 U 形管中油的重度  $\gamma_{\text{油}}$  。

设在  $p_0 > p_a$  时, 2#测压管和 3#测压管的水面差为  $\Delta h_1$  , U 形测压管的水面差为  $\Delta h_2$  , 则

$$p_0 = \gamma \Delta h_1 = \gamma_{\text{油}} \Delta h_2$$

由上式可得 
$$\gamma_{\text{油}} = \gamma \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2}$$

## 1.6 实验中应注意的问题

容器的密闭性能要保持良好状态, 实验时仪器底座要水平。

### 思考题

1. 表面压强  $p_0$  的改变, 对 1、2 两点的压强水头有什么影响, 对真空度有什么影响?

2. 相对压强与绝对压强、相对压强与真空度有什么关系？

3. U形管中的压差  $\Delta h$  与液面压强  $p_0$  的变化有什么关系？

4. 如果在 U 形管中装上与密闭容器相同的水，则当调压筒升高或降低时，U 形管中  $\Delta h_2$  的变化与  $\Delta h_1$  的变化是否相同？

## 实验二 能量方程实验

### 2.1 实验目的和要求

1. 观察水在管道内做恒定流动时，位置水头  $z$ 、压强水头  $p/\gamma$  和流速水头  $v^2/2g$  的沿程变化规律。
2. 绘出各断面的测压管水头和总水头及理想液体的总水头线，比较分析，加深对能量转换、能量守恒定律的理解。
3. 建立沿程水头损失和局部水头损失的概念。

### 2.2 能量方程实验的原理

水流运动也遵守能量守恒及其转化规律。如图 2-1 所示，运动着的水流具有三种形式的能量，即位能、压能和动能。水流在运动过程中，这三种形式的机械能可以互相转化，但是总的机械能是守恒的。

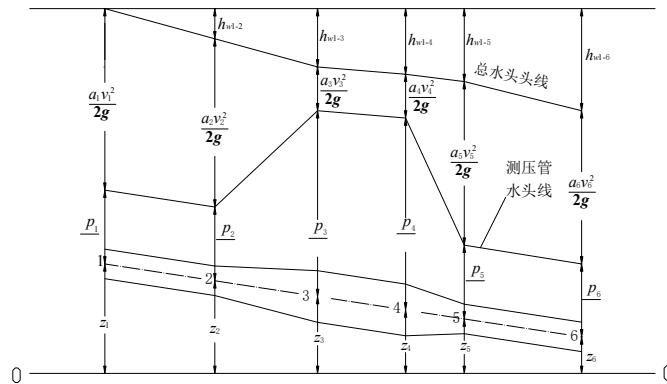


图 2-1 能量守恒与转换

实际液体恒定总流的能量方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (2-1)$$

式中， $z$  为位置水头； $p/\gamma$  为压强水头； $v^2/2g$  为流速水头； $h_{w1-2}$  为两个断面之间的水头损失。

由上式可以看出，能量方程表达了液流中机械能和其它形式的能量（主要是代表能量损失的热能）保持恒定的关系，总机械能在互相转化过程中，有一部分由于克服液流阻力转化为水头损失。机械能中势能和动能可以互相转化，互相消长，表现为动能增，势能减。如机械能中的动能不变，则位能和压能可以互相转化，互相消长，表现为位能减，压能增，或位能增，压能减。因此，能量方程的物理意义是总流各过水断面上单位重量液体所具有的势能平均值与动能平均值之和，即总机械能之平均值沿流程减小，部分机械能转化为热能而损失；同时，亦表示了各项能量之间可以相互转化的关系。其几何意义是：总流各过水断面上平均总水头沿流程下降，所下降的高度即为平均水头损失，同时，亦表示了各项水头之间可以互相转化的关系。平均总水头线沿流程下降，平均测压管水头线沿流程可以



上升，也可以下降。

### 2.3 能量方程实验的仪器设备

实验设备由蓄水箱、水泵、稳水箱、溢流管、实验管段，测压排、接水盒、回水系统组成。流量测量用体积法或重量法，其布置如图 2-2 所示。

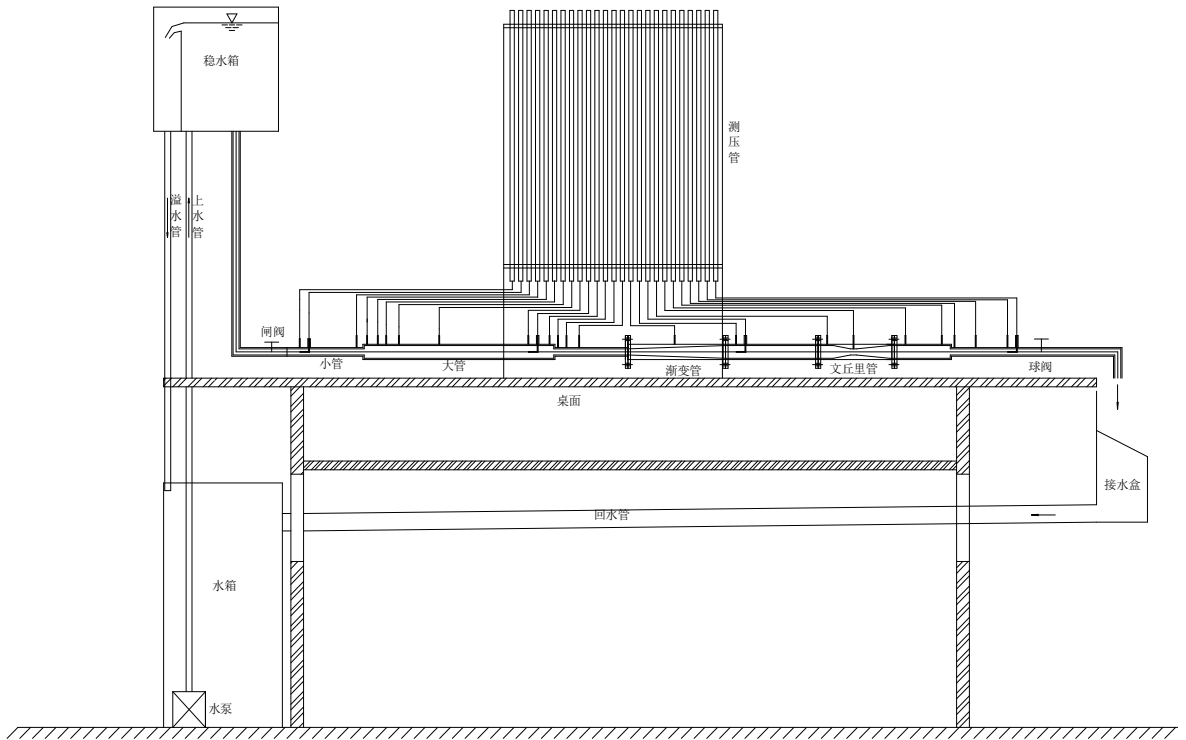
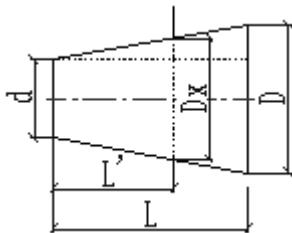


图 2-2 能量方程实验装置

### 2.4 实验的方法与步骤

1.记录测量管道各变化部位的有关参数，如管径、管长，记入表格中。注意 15 测压管所测管径，为渐扩管任意位置，需用几何方法计算出管径  $D_x$  大小。已知  $d$ ,  $D$ , 用直尺量出  $L'$ ,  $L$ , 计算出  $D_x$  大小，公式如下：



$$D_x = d + L'(D-d)/L$$

图 2-2

- 2.打开水泵和上水阀门，使水流充满稳水箱并保持溢流状态。
- 3.打开实验管道的进水阀门和出水阀门，使水流流过实验管道，待管道出水阀门出流

后，关闭出水阀门，排去实验管道和各测压管内的空气，并检验空气是否排完，检验的方法是出水阀门关闭时各测压管水头为一水平线。

4.空气排完后，打开管道出水阀门并调节流量，使测压管水头线在适当位置，待水流稳定后，观测各测压管水头线和总水头线，其中 2，8，16，21 为总水头，其余均为测压管水头，记入表格中的相应的位置。

5.用体积法测出流量，即用量筒接水，同时秒表计时。注意量筒水量越多，误差越小。测量三次，计算出流量，取平均值，记入表格中。

6.实验完后关闭进出水阀门及水泵电源，将仪器恢复原状。

## 2.5 数据处理与成果分析

实验设备名称

仪器编号

### 1.实验数据记录及计算成果

| 测管<br>编号 | 流量 $Q$<br>$\text{cm}^3/\text{s}$ | 管径 $d$<br>cm | 两管<br>间距<br>cm | 面积 $A$<br>$\text{cm}^2$ | $z + p/\gamma$<br>cm | 流速 $v$<br>cm/s | $v^2/2g$<br>cm | 总水头 $H$ cm |    | 水头损<br>失 $h_w$<br>cm |
|----------|----------------------------------|--------------|----------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|------------|----|----------------------|
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                | 实测         | 计算 |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |
|          |                                  |              |                |                         |                      |                |                |            |    |                      |

### 2.成果分析

(1) 根据实测的各点测压管水头和总水头，点绘测压管水头和总水头的沿程变化线。

(2) 根据实测流量和各测量断面的管径，计算出各测量断面的流速水头和总水头，并同实测的总水头进行比较。

(3) 在同一张图上点绘出液体的总水头线，求出各管段的水头损失。

## 2.6 实验中应注意的问题

测量数据前一定要将管道和测压管内的气体排出。

### 思考题

1. 能量方程的适应条件是什么？测压管测量的是绝对压强还是相对压强？

2. 测压管水头线沿流程可以升高也可以降低，总水头线沿流程也可以升高吗？

3. 试述能量方程的物理意义和几何意义。

# 实验三 文丘里流量系数测量实验

## 3.1 实验目的和要求

- 1.了解文丘里流量计的构造，原理及使用方法。
- 2.掌握文丘里流量计流量系数的测量方法。
- 3.点绘流量系数与实测流量以及流量与压差的关系，计算出流量系数的平均值。

## 3.2 文丘里流量计的构造和测流原理

### 3.2.1 文丘里流量计的构造

文丘里流量计是一种管道流量测量的仪器，它由收缩段，喉道段和扩散段三部分组成。文丘里管本身又分为圆锥形和喷嘴型两种，而每一种又分为长管型和短管型，这里仅介绍圆锥形文丘里流量计。

圆锥形文丘里流量计由入口圆锥管段，收缩段，喉管段及出口圆锥管段组成，见图 3-1。其节流孔径比（喉道直径与管道直径之比） $\beta = d/D = 0.3 \sim 0.75$  之间。入口圆锥管段  $\alpha_1 = 21^\circ \pm 1^\circ$ ，出口圆锥管段  $\alpha_2 = 7^\circ \sim 15^\circ$ 。喉道长度与喉道直径相同。在喉道部和上游收缩段前  $D/2$  的圆管段设测压孔，以便测出这两个断面的压差。与同一孔径的孔板，喷嘴流量计相比，文丘里流量计水头损失较小，因此，被广泛的应用在管道上测量流量。

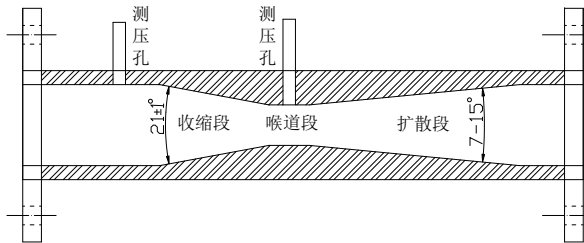


图 3-1 文丘里流量计构造图

### 3.2.2 文丘里流量计的测流原理

当流体通过文丘里流量计时，由于圆管段和喉道段的断面面积不同而产生压差，通过的流量不同，其压差的大小也不同，所以可根据压差的大小来测定流量。图 3-2 是文丘里流量计理论分析简图。以 0-0 为基准面，暂不考虑能量损失，取 1-1 断面和 2-2 断面写能量方程为

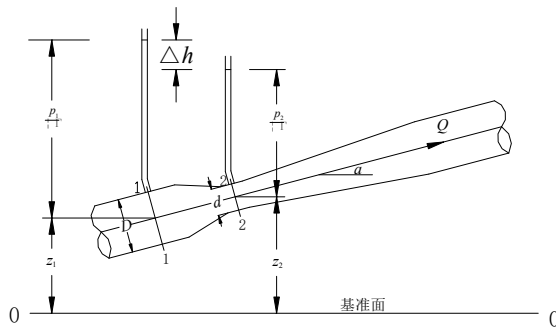


图 3-2 文丘里流量计理论分析简图

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (3-1)$$

由上式得

$$\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = (z_1 + \frac{p_1}{\gamma}) - (z_2 + \frac{p_2}{\gamma}) = \Delta h \quad (3-2)$$

式中， $z_1$ 、 $z_2$ 、 $p_1/\gamma$ 、 $p_2/\gamma$ 、 $\alpha_1 v_1^2/2g$ 、 $\alpha_2 v_2^2/2g$  分别为 1-1 断面和 2-2 断面的位置水头、压强水头和流速水头； $\Delta h$  为 1-1 断面和 2-2 断面的测压管水头差。

由连续方程可得

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2 = \left(\frac{d}{D}\right)^2 v_2 \quad (3-3)$$

式中， $A_1$ 、 $A_2$  分别为管道和文丘里流量计喉道断面的面积， $d$ 、 $D$  分别为文丘里流量计喉道和管道断面的直径。

将式 (3-3) 代入式 (3-2) 得

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1-(d/D)^4}} \quad (3-4)$$

通过文丘里流量计的流量为

$$Q = v_2 A_2 = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1-(d/D)^4}} \quad (3-5)$$

上是即为文丘里流里计不考虑水头损失时的流量公式。令

$$K = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{1-(d/D)^4}} \quad (3-6)$$

则

$$Q_{理} = K \sqrt{\Delta h} \quad (3-7)$$

对于水银差压计，上式可写成

$$Q_{理} = K \sqrt{12.6\Delta h} \quad (3-8)$$

对于实际液体，考虑到水头损失，则实际通过文丘里流量计的流量为

$$Q_{实} = \mu K \sqrt{\Delta h} \quad (3-9)$$

对于水银差压计，有

$$Q_{实} = \mu K \sqrt{12.6\Delta h} \quad (3-10)$$

式中， $\mu$  为文丘里流量计的流量系数。由式 (3-7) 和式(3-9) 可以看出

$$\mu = \frac{Q_{实}}{Q_{理}} \quad (3-11)$$

实验表明， $\mu$  是雷诺数  $R_e = v_0 D / \nu$  的函数，在雷诺数  $R_e < 2 \times 10^5$  以前，流量系数随雷诺数的增大而增大，在  $R_e > 2 \times 10^5$  以后，流量系数基本为一常数。一般认为，流量系数在 0.92~0.98 之间。

### 3.3 测定文丘里流量系数的设备和仪器

实验设备为自循环实验系统，包括水泵，水箱，压力管道，文丘里流量计、接水盒和回水系统。测量仪器为两种，一种是传统的量测方法，仪器为量筒、测压计、钢尺和秒表；另一种为自动量测方法，仪器由导水抽屉、盛水容器、限位开关、差压传感器、称重传感器、排水泵及差压流量测量仪组成。差压流量测量仪可显示重量、时间、差压。实验的设备仪器如图 3-3 所示。

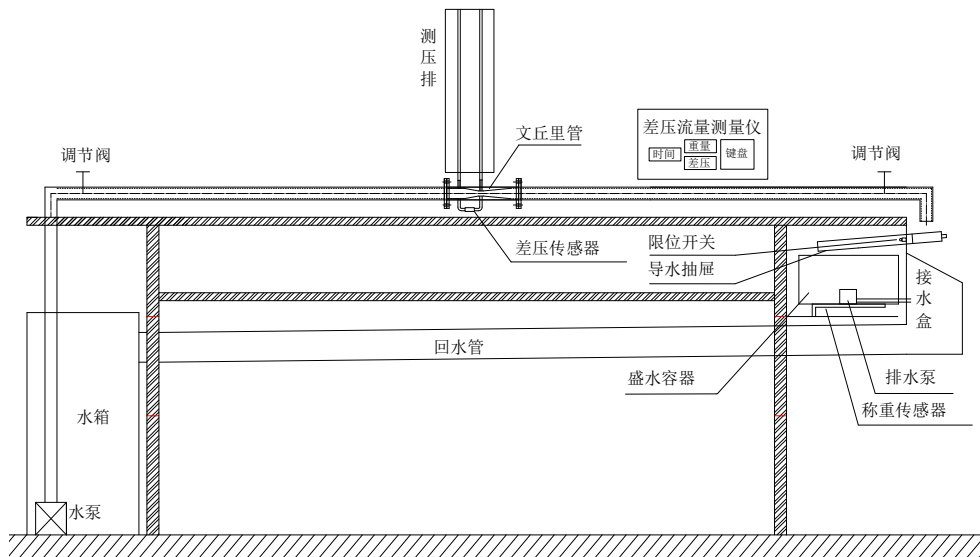


图 3-3 文丘里流量计实验装置

### 3.4 实验方法和步骤

1. 记录有关常数  $d$  和  $D$ ，并计算出  $K$  值。
2. 打开供水泵，打开实验管道上的调节阀门，使水流通过文丘里管。
3. 关闭出水调节阀门，打开测压排上的止水夹，将测压管中的空气排出。并检验空气是否排完，检验的方法是管道不过流时两根测压管的水面应齐平。
4. 打开出水阀门，观察测压管压差值  $\Delta h$  为适当数值。第一组数据差值  $\Delta h$  尽量大，在直尺测量范围内
5. 待水流稳定后测量差压和流量。选定基准面，用直尺测出两根测压管读数  $h_1$  和  $h_2$ ，则两根测压管的高度差为  $\Delta h = h_1 - h_2$ ；用量筒和秒表测量流量，水量尽量多（误差小），在量筒刻度线以内，用多长时间  $t$  接多少水  $L$ 。将测量数值  $h_1$ ， $h_2$ ， $L$ ， $t$  依次记入表格中，并计算出差值  $\Delta h$ 。
6. 调节出水阀门，使流量减小，重复第 5 步。注意每组数据中  $\Delta h$  的大小，要保证下一组的  $\Delta h$  值比上一组小 2~5cm 之间，至少有一组的  $\Delta h$  值要小于 10cm，共需要测出十组数

据。

7.实验结束后关闭进出水阀门，并切断电源，将仪器恢复原状。

### 3.5 数据处理和成果分析

实验设备名称

仪器编号

已知数据：文丘里流量计喉道直径  $d =$             cm;

管道直径  $D =$     cm; 系数  $K =$              $\text{cm}^{5/2}/\text{s}$ 。

#### 1.实验数据及计算成果

| 测次     | $h_1$<br>cm | $h_2$<br>cm | 差压 $\Delta h$<br>cm | 体积 L<br>$\text{cm}^3$ | 时间 t<br>s | $Q_{\text{实}}$<br>$\text{cm}^3/\text{s}$ | $Q_{\text{理}} = K\sqrt{\Delta h}$<br>$\text{cm}^3/\text{s}$ | $\mu = \frac{Q_{\text{实}}}{Q_{\text{理}}}$ |
|--------|-------------|-------------|---------------------|-----------------------|-----------|--|---|---|
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
|        |             |             |                     |                       |           |  |   |   |
| 指导教师签名 |             |             |                     | 实验日期                  |           |  |   |   |

#### 2.成果分析

- (1) 将实测压差值代入式 (3-7) 即得理想流量。
- (2) 用实测的水的净重量除以测量时间即为实测流量。
- (3) 流量系数用式 (3-11) 计算。
- (4) 绘制  $\mu \sim Q_{\text{实}}$  和  $Q_{\text{实}} \sim \Delta h$  的关系曲线。

### 3.6 实验中应注意的问题

- 1.每次改变流量应待水流稳定后方能测读数据，否则影响测量精度。
- 2.每次实验前要检查称重容器中的水是否排出或排放是否停止，如水未排出或排放未停止，要等待排放停止后再进行下一次测量。

### 思考题

1. 如果文丘里管没有水平放置，对测量结果有无影响。
2. 如何确定文丘里管的水头损失？
3. 通过实验说明文丘里管流量计的流量系数随流量有什么变化规律。



## 实验四 沿程阻力系数实验

### 4.1 实验目的和要求

1. 了解沿程水头损失的概念。
2. 掌握测定管道沿程阻力系数的方法。
3. 了解影响沿程阻力系数的因素。
4. 验证不同流区中水头损失与断面平均流速的关系，绘制沿程阻力系数与雷诺数的关系，判断实验的区域。

### 4.2 沿程阻力系数实验的原理

沿程水头损失是指单位重量的液体从一个断面流到另一个断面由于克服摩擦阻力消耗能量而损失的水头。这种水头损失随流程的增加而增加，且在单位长度上的损失率相同。

图 4-1 为一等直径管道中的恒定水流，在任一两个过水断面 1-1 与 2-2 上写能量方程得

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f \quad (4-1)$$

因为管径相同，所以通过 1-1 断面和 2-2 断面的流速相同，则  $\alpha_1 v_1^2 / 2g = \alpha_2 v_2^2 / 2g$ ，代入上式得

$$h_f = \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) = \Delta h \quad (4-2)$$

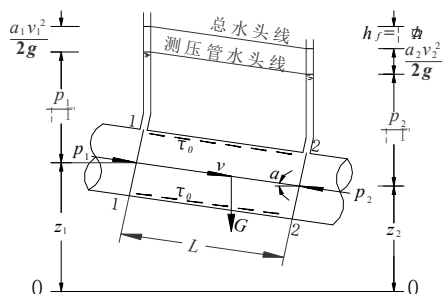


图 4-1 沿程水头损失分析简图

上式即为沿程水头损失的表达式，式中  $h_f$  为沿程水头损失； $\Delta h$  为 1-1 与 2-2 量测断面的测压管水头差。显然， $h_f = \Delta h$ 。沿程水头损失的另一表达式是达西公式，即

$$h_f = \lambda \frac{L v^2}{d 2g} \quad (4-3)$$

式中， $\lambda$  为沿程水头损失系数，或称沿程阻力系数； $d$  为圆管的直径； $L$  为两个过水断面之间的距离； $v$  为圆管中的平均流速。令式 (4-2) 和式 (4-3) 相等，则得沿程阻力系数为

$$\lambda = \frac{2gdh_f}{Lv^2} = \frac{2gd\Delta h}{Lv^2} \quad (4-4)$$

图 4-2 是沿程阻力系数与雷诺数和相对粗糙度之间的关系，此图称为莫迪图，是 1944 年由莫迪绘制的。由图中可以看出，沿程阻力系数  $\lambda$  是雷诺数  $R_e$  和相对粗糙度  $\Delta/d$  的函数，即  $\lambda = f(R_e, \Delta/d)$ 。在层流区， $\lambda$  只与雷诺数  $R_e$  有关，即  $\lambda = f(R_e)$ ，理论分析得出， $\lambda = 64/R_e$ ；在紊流光滑区，沿程阻力系数也只与雷诺数有关，粗糙度不起作用，普朗特得出光滑区阻力系数的表达式为  $[2.0 \lg(R_e \sqrt{\lambda}) - 0.8] \sqrt{\lambda} = 1.0$ ；在紊流过渡区， $\lambda$  与雷诺数  $R_e$  和  $\Delta/d$  都有关系；在紊流粗糙区， $\lambda$  只与相对粗糙度  $\Delta/d$  有关，而与雷诺数  $R_e$  无关，即  $\lambda = f(\Delta/d)$ 。

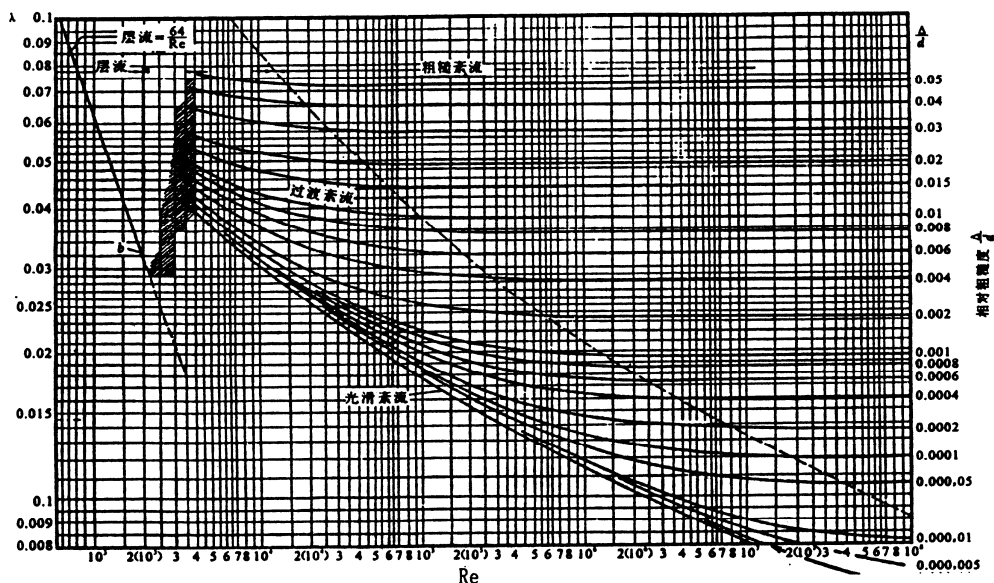


图 4-2 沿程阻力系数与雷诺数和相对粗糙度的关系

### 4.3 沿程阻力系数实验的仪器设备

实验装置如图 4-3 所示。实验设备为自循环实验系统，包括供水箱、水泵、等直径的压力管道、调节阀门、接水盒和回水系统。实验仪器有两种，一种是传统的量测方法，仪器为量筒、测压计、钢尺和秒表；另一种为自动量测方法，仪器由导水抽屉、盛水容器、限位开关、差压传感器、称重传感器、排水泵及差压流量测量仪组成。

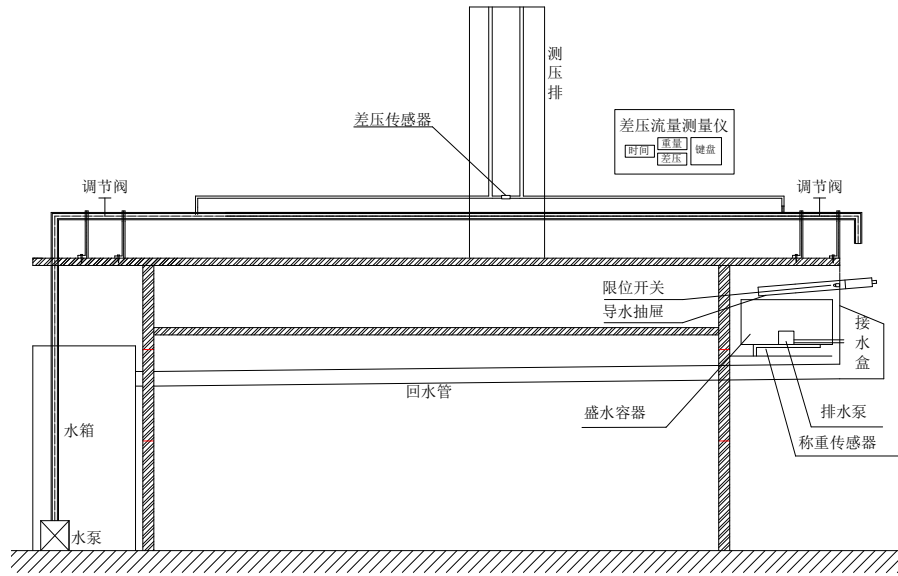


图 4-3 沿程水头损失实验的仪器设备

#### 4.4 沿程阻力系数实验的方法和步骤

- 1.记录有关常数  $d$ 、 $L$ 。
- 2.打开差压流量测量仪电源，按测量键 H，将仪器预热 15 分。
- 3.打开供水泵，打开实验管道上的调节阀，使管道充满水。
- 4.关闭出水调节阀，打开测压排上的止水夹，将测压管中的空气排出。并检验空气是否排完，检验的方法是管道不过流时两根测压管的水面应齐平。
- 5.打开出水阀门，观察测压管或差压流量测量仪面板显示的压差值为适当数值。
- 6.待水流稳定后测量差压和流量。如用传统方法测量，可用量筒和秒表测量流量，用钢板尺测量两根测压管读数  $h_1$  和  $h_2$ ，则两根测压管的高度差为  $\Delta h = h_1 - h_2$ 。如用电测方法测量，将导水抽屉拉出开始测量，这时测量仪显示重量、时间和差压的瞬时变化值。
- 7.将导水抽屉推进，本次测量结束，这时测量仪上显示本次测量的水的净重、测量时间和差压。将本次测量结果记录在相应的表格中。
- 8.打开排水泵，将盛水容器中的水排出。待容器中的水排完或排放停止后即可开始第二次测量。
- 9.调节出水阀门，重复第 6 步至第 8 步  $N$  次。
- 10.用温度计测量水温。
- 11.实验结束后将仪器恢复原状。

#### 4.5 数据处理和成果分析

实验设备名称

仪器编号

已知数据：管道材料 \_\_\_\_\_；管道直径  $d =$  \_\_\_\_\_ cm；管道断面面积  $A =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2$ ；  
 实验段长度  $L =$  \_\_\_\_\_ cm；斜比压计夹角  $\alpha =$  \_\_\_\_\_  $^\circ$ ；水温  $t =$  \_\_\_\_\_  $^\circ$ ；  
 水的运动粘滞系数  $\nu =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2/\text{s}$ 。

### 1.实验数据及计算成果

| 测次 | $h_1$<br>cm | $h_2$<br>cm | $\Delta h$<br>cm | 体积<br>$\text{cm}^3$ | 时间<br>s | $Q_{\text{实}}$<br>$\text{cm}^3/\text{s}$ | 流速<br>cm/s | 沿程阻力<br>系数 $\lambda$ | 雷诺数<br>$R_e$ | $\Delta/\delta_0$ | 实验区<br>域判断 |
|----|-------------|-------------|------------------|---------------------|---------|--|------------|----------------------|--------------|-------------------|------------|
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |
|    |             |             |                  |                     |         |  |            |                      |              |                   |            |

### 2.成果分析

(1) 在双对数纸上点绘水头损失  $\lambda$  与雷诺数  $R_e$  的关系，分析沿程阻力系数  $\lambda$  随雷诺数的变化规律。并将成果与莫迪图 9-2 进行比较，分析实验所在的区域。

(2) 也可以用下面的方法对实验曲线进行分析，判断流动区域。当  $R_e < 2320$  时，为层流， $\lambda = 64/R_e$ 。当  $2320 < R_e < 4000$  时，为层流到紊流的过渡区。当  $R_e > 4000$  时，液流形态已进入紊流区，这时，沿程阻力系数决定于粘性底层厚度  $\delta_0$  与绝对粗糙度  $\Delta$  的比值。粘性底层的计算公式为

$$\delta_0 = \frac{32.8d}{R_e \sqrt{\lambda}} \quad (4-5)$$

根据绝对粗糙度与粘性底层的比值，对紊流区域判断如下：

当  $\Delta/\delta_0 < 0.3$  为紊流光滑区， $\lambda = f(R_e)$ ， $\lambda$  仅与雷诺数有关；当  $0.3 \leq \Delta/\delta_0 < 6.0$  为

紊流过渡区,  $\lambda = f(R_e, d/\Delta)$ ,  $\lambda$  不仅与雷诺数有关, 而且与相对光滑度  $d/\Delta$  有关; 当  $\Delta/\delta_0 > 6.0$  为阻力平方区 (粗糙区),  $\lambda = f(d/\Delta)$ ,  $\lambda$  仅与相对光滑度  $d/\Delta$  有关。

(3) 由实测的层流区的水头损失  $h_f$  计算粘滞系数  $\mu$ 。已知在层流区  $\lambda = 64/R_e$ ,  $R_e = vd/\nu$ , 代入式 (9-3) 得  $\nu = gd^2h_f/(32Lv)$ , 又  $g = \gamma/\rho$ ,  $\mu = \rho\nu$ , 可得

$$\mu = \frac{\gamma d^2 h_f}{32Lv} \quad (4-6)$$

#### 4.6 实验中应注意的问题

1. 在测量过程中, 当差压较大时, 用差压传感器测量差压, 差压较小时, 用测压管测量差压。

2. 每调节一次出水阀门, 一定要待水流稳定后才能测量数据, 在测量小流量时, 水流的稳定时间要相对较长一些。

#### 思考题

1. 测量实验管段的测压管水头之差为什么叫做沿程水头损失? 影响沿程水头损失的因素有哪些?
2. 如果将实验管道倾斜放置, 传感器中测量的差压值是不是沿程水头损失? ,
3. 某混凝土管厂需要测定混凝土管的沿程阻力系数  $\lambda$ , 应如何进行实验?

# 实验五 局部阻力系数实验

## 5.1 实验目的和要求

1. 掌握测量局部阻力系数的方法。
2. 测量管道突然扩大、突然缩小时的局部阻力系数。
3. 了解影响局部阻力系数的因素。

## 5.2 局部阻力系数实验的原理

水流在流动过程中，由于水流边界条件或过水断面的改变，引起水流内部各质点的流速、压强也都发生变化，并且产生旋涡。在这一过程中，水流质点间相对运动加强，水流内部摩擦阻力所作的功增加，水流在流动调整过程中消耗能量所损失的水头称为局部水头损失。

局部水头损失的一般表达式为

$$h_j = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (5-1)$$

式中， $h_j$  为局部水头损失； $\zeta$  为局部水头损失系数，即局部阻力系数，它是流动形态与边界形状的函数，即  $\zeta = f(\text{边界形状}, R_e)$ ，当水流的雷诺数  $R_e$  足够大时，可以认为  $\zeta$  系数不再随  $R_e$  而变化，可视作为一常数； $v$  为断面平均流速，一般用发生局部水头损失以后的断面平均流速，也有用损失断面前的平均流速，所以在计算或查表时要注意区分。

局部水头损失可以通过能量方程进行分析。图 10-1 为一水流突然扩大的实验管段，在发生局部水头损失前后取断面 1-1 和 2-2（两个断面应属渐变流）写能量方程得

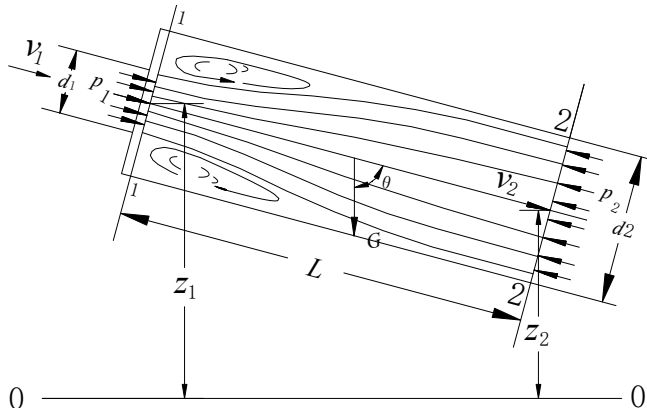


图 5-1 局部水头损失分析简图

$$h_j = (z_1 + \frac{p_1}{\gamma}) - (z_2 + \frac{p_2}{\gamma}) + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (5-2)$$

式中， $(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}) - (z_2 + \frac{p_2}{\gamma})$  为断面 1-1 和 2-2 的测压管水头差； $v_1$ 、 $v_2$  分别为 1-1 断面和

2-2 断面的平均流速。

管道局部水头损失目前仅有断面突然扩大（图 5-1）可利用动量方程，能量方程和连续方程进行理论分析，并可得出足够精确的结果，其它情况尚需通过实验方法测定局部阻力系数。对于管道突然扩大，理论公式为

$$h_j = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (5-3)$$

由连续方程  $A_1v_1=A_2v_2$ ，解出  $v_1$  或  $v_2$  代入上式可分别得

$$h_j = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}, \quad \zeta_{\text{扩大1}} = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2 \quad (5-4)$$

或

$$h_j = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}, \quad \zeta_{\text{扩大2}} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (5-5)$$

式中， $A_1$ 、 $A_2$  分别为断面 1-1 和 2-2 的过水断面面积； $\zeta_{\text{扩大1}}$ 、 $\zeta_{\text{扩大2}}$  叫做突然放大的局部阻力系数。由式（5-4）和（5-5）可以看出，突然扩大的局部水头损失可以用损失前的流速水头或者用损失后的流速水头表示，但两种表示方法其阻力系数是不一样的，在应用中要注意应用条件。

对于断面突然缩小的情况，目前尚没有理论公式，对于  $A_2 / A_1 < 0.1$  的情况，有下面的经验公式<sup>[1]</sup>

$$h_j = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \frac{v_2^2}{2g}, \quad \zeta_{\text{缩小}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \quad (5-6)$$

对于断面突然缩小的其它面积比，其阻力系数可由表 5-1 查算<sup>[2]</sup>，或者用经验公式(5-7)计算。

表 5-1 突然缩小时不同面积比的阻力系数

| $A_2/A_1$           | 0.01 | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\zeta_{\text{缩小}}$ | 0.5  | 0.47 | 0.45 | 0.38 | 0.34 | 0.30 | 0.25 | 0.20 | 0.15 | 0.00 | 0.00 |

$$\zeta_{\text{缩小}} = -1.2255\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^4 + 2.2096\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^3 - 1.3859\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - 0.1167\left(\frac{A_2}{A_1}\right) + 0.5 \quad (5-7)$$

### 5.3 局部阻力系数实验的设备仪器

实验装置为自循环系统，包括供水箱、水泵、突然扩大实验压力管道、突然缩小实验压力管道、调节阀、接水盒、回水系统。实验仪器为两种，一种是传统的量测方法，仪器为测压管、量筒、钢尺和秒表；另一种为自动量测方法，仪器由导水抽屉、盛水容器、限

位开关、双通道差压传感器、称重传感器、排水泵及差压流量测量仪组成。差压流量测量仪可显示重量、时间、差压。实验的设备仪器如图 5-2 所示。

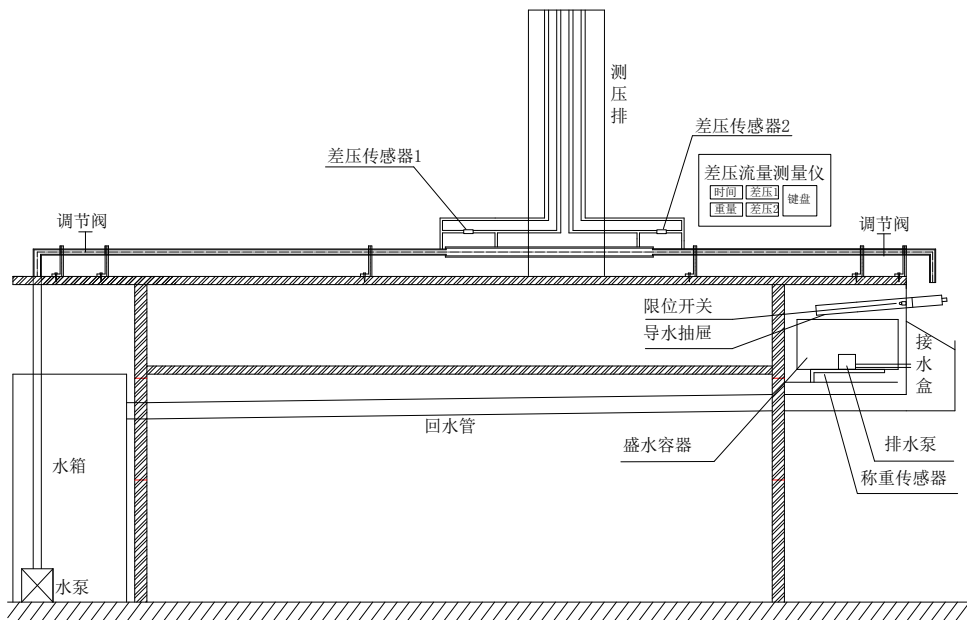


图 5-2 局部阻力系数实验装置

#### 5.4 局部阻力系数实验的方法和步骤

1. 记录有关常数，如突然放大的管径  $d_1$  和管径  $d_2$ ；突然缩小的管径  $d_3$  和管径  $d_4$ 。
2. 打开差压流量测量仪电源，将仪器预热 15 分钟。
3. 打开供水泵和调节阀门，使管中充满水。
4. 关闭出水调节阀门，打开测压排上的止水夹，将测压管中的空气排出。并检验空气是否排完，检验的方法是管道不过流时两根测压管的水面应齐平。
5. 打开出水阀门，观察测压管或差压流量测量仪面板显示的压差值为适当数值。
6. 待水流稳定后测量差压和流量。如用传统方法测量，可用量筒和秒表测量流量，用钢板尺测量测压管读数  $z_1 + p_1 / \gamma$ 、 $z_2 + p_2 / \gamma$ 、 $z_3 + p_3 / \gamma$ 、 $z_4 + p_4 / \gamma$ 。如用电测方法测量，将导水抽屉拉出开始测量，这时测量仪显示重量、时间和差压的瞬时变化值。
7. 将导水抽屉推进，本次测量结束，这时测量仪上显示本次测量的水的净重、测量时间和差压。其中， $\Delta h_1$  和  $\Delta h_2$  为突然扩大和突然缩小的测压管水头差。
8. 打开排水泵，将盛水容器中的水排出。待容器中水排完或排放停止后即可开始第二次测量。
9. 调节出水阀门，使流量逐渐减小或增加，重复第 6 至第 8 步  $N$  次。
10. 实验结束后将仪器恢复原状。

#### 5.5 数据处理和成果分析

实验设备名称

仪器编号

已知数据：突然放大管：  $d_1 =$       cm       $d_2 =$       cm



突然缩小管:  $d_3 =$       cm       $d_4 =$       cm

1 实验数据记录

| 测次     | 传统实验方法                 |                        |                        |                        |                        | 差压流量测量仪  |                    |                    |                        | 流量<br>$Q$<br>cm <sup>3</sup> /s |          |
|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|--------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|----------|
|        | 突然扩大                   |                        | 突然缩小                   |                        | 体积                     | 时间       | 压差                 |                    | 体积                     |                                 | 时间       |
|        | $z_1+p_1/\gamma$<br>cm | $z_2+p_2/\gamma$<br>cm | $z_3+p_3/\gamma$<br>cm | $z_4+p_4/\gamma$<br>cm | $V$<br>cm <sup>3</sup> | $s$<br>秒 | $\Delta h_1$<br>cm | $\Delta h_2$<br>cm | $V$<br>cm <sup>3</sup> |                                 | $s$<br>秒 |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
|        |                        |                        |                        |                        |                        |          |                    |                    |                        |                                 |          |
| 指导教师签名 |                        |                        |                        |                        |                        | 实验日期     |                    |                    |                        |                                 |          |

2 计算成果

| 测次 | $A_1 =$ cm <sup>2</sup>   |               | $A_2 =$ cm <sup>2</sup> |               | 突然扩大阻力系数计算       |             |               |  |
|----|---------------------------|---------------|-------------------------|---------------|------------------|-------------|---------------|--|
|    | $Q$<br>cm <sup>3</sup> /s | $v_1$<br>cm/s | $v_1^2/2g$<br>cm        | $v_2$<br>cm/s | $v_2^2/2g$<br>cm | $h_j$<br>cm | $\zeta$<br>cm |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
|    |                           |               |                         |               |                  |             |               |  |
| 测  | $A_3 =$ cm <sup>2</sup>   |               | $A_4 =$ cm <sup>2</sup> |               |                  |             |               |  |

| 次 | 突然缩小阻力系数计算                |               |                  |               |                  |             |               |
|---|---------------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|-------------|---------------|
|   | $Q$<br>cm <sup>3</sup> /s | $v_3$<br>cm/s | $v_3^2/2g$<br>cm | $v_4$<br>cm/s | $v_4^2/2g$<br>cm | $h_j$<br>cm | $\zeta$<br>cm |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |
|   |                           |               |                  |               |                  |             |               |

### 3.成果分析

(1) 计算所测量的管道突然扩大和突然缩小的局部阻力系数 $\zeta$ 值，分析比较突扩与突缩在相应条件下的局部损失大小关系。

(2) 将突然扩大实测的 $\zeta_{扩}$ 值与理论公式计算的 $\zeta_{扩}$ 的数据进行比较，将突然缩小的实测值 $\zeta_{缩}$ 与式(5-7)计算值或表(5-1)查算值进行比较。

(1) 绘制局部水头损失与速度水头的关系曲线，其斜率即为局部阻力系数。

(4) 分析突然扩大与突然缩小局部水头损失的变化规律。

## 5.6 实验中应注意的问题

- 1.用流速 $v_1$ 和 $v_2$ 计算出的阻力系数是不同的，计算时注意勿代错。
- 2.每次调节出水阀门后，须待水流稳定后再开始下一次测量。

## 思考题

1. 实验中所选择的测压管一定要在渐变流断面上，为什么？不在渐变流断面上的测压管水头是怎样变化的？
2. 在相同管径条件下，相应于同一流量，其突然扩大的局部阻力系数是否一定大于突然缩小的局部阻力系数？
3. 对于管道断面突然缩小，液流在小管的断面收缩成最小断面，称为收缩断面，一般认为，断面突然缩小的主要水头损失发生在液流从收缩断面到断面扩大的过程中，这一过程的水头损失可以把它当成从收缩断面面积  $A_c$  到小管面积  $A_2$  之间的突然扩大损失。仿照式 (5-3)，试推求从收缩断面扩大到整个断面的水头损失的表达式。
4. 现有一平板闸阀，需要测定闸阀不同开度的局部阻力系数，请画出实验简图，并说明如何测量阀门的局部阻力系数？