

## 壹、静水压强实验

### 一、实验目的

1、加深对水静力学基本方程物理意义的理解，验证静止液体中，不同点对于同一基准面的测压管水头为常数（即  $z + \frac{P}{\rho g} = C$ ）。

2、学习利用 U 形管测量液体密度。

3、建立液体表面压强  $p_0 > p_a$ ， $p_0 < p_a$  的概念，并观察真空现象。

4、测定在静止液体内部 A、B 两点的压强值。

### 二、实验原理

在重力作用下，水静力学基本方程为：

$$z + \frac{P}{\rho g} = C$$

它表明：当质量力仅为重力时，静止液体内部任意点对同一基准面的  $z$  与  $\frac{P}{\rho g}$  两项

之和为常数。

重力作用下，液体中任何一点静止水压强

$$p = p_0 + \rho gh,$$

$p_0$  为液体表面压强。

$p_0 > p_a$  为正压； $p_0 < p_a$  为负压，负压可用真空压强  $p_v$  或真空高度  $h_v$  表示：

$$p_v = p_a - p_{abs} \quad h_v = \frac{p_v}{\rho g}$$

重力作用下，静止均质液体中的等压面是水平面。利用互相连通的同一种液体的等到压面原理，可求出待求液体的密度。

### 三、实验设备

在一全透明密封有机玻璃箱内注入适量的水，并由一乳胶管将水箱与一可升降的调压筒相连。水箱顶部装有排气孔  $k_1$ ，可与大气相通，用以控制容器内液体表面压强。若在 U 形管压差计所装液体为油， $\rho_{油} < \rho_{水}$ ，通过升降调压筒可调节水箱内液体的表面压强，如图 1-1 所示。

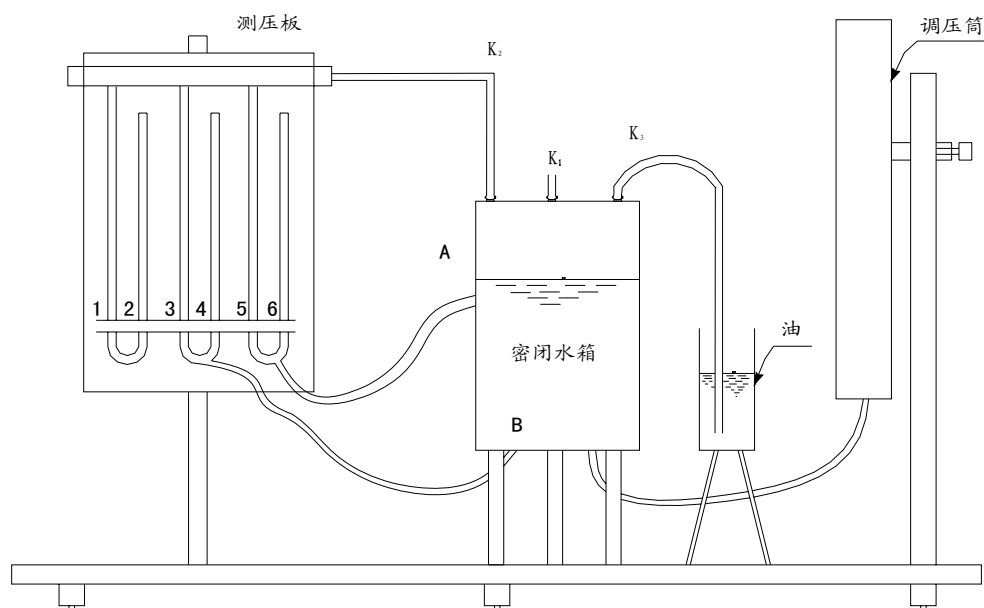


图 1—1

#### 四、实验步骤

- 1、熟悉仪器，测记有关常数。
- 2、将调压筒旋转到适当高度，打开排气阀  $k_1$ ，使之与水箱内的液面与大气相通，此时液面压强  $p_0 = p_a$ 。待水面稳定后，观察各 U 形压差计的液面位置，以验证等压面原理。
- 3、关闭排气阀  $k_1$ ，将调压筒升至某一高度。此时水箱内的液面压强  $p_0 > p_a$ 。观察各测压管的液面高度变化并测记液面标高。
- 4、继续提高调压筒，再做两次。
- 5、打开排气阀  $k_1$ ，使之与大气相通，待液面稳定后再关闭  $k_1$ （此时不要移动调压筒）。
- 6、将调压筒降至某一高度。此时  $p_0 < p_a$ 。观察各测压管的液面高度变化，并测记标高，重复两次。
- 7、将调压筒升至适当位置，打开排气阀  $k_1$ ，实验结束。

#### 五、注意事项

- 1、升降调压筒时，应轻拉轻放，每次调压高度不宜过大。
- 2、在测记测压管液面标高时，一定要待液面稳定后再测读数。若  $p_0$  未变而测压管水面持续变化时，则表明阀门漏气，应采取修复措施。

## 六、思考题

- 1、什么情况下 3、4 两根测压管的高度相同？
- 2、液面标高  $\nabla_4 - \nabla_3$  与  $\nabla_6 - \nabla_5$  相等吗？为什么？
- 3、调压筒的升降为什么能改变容器的液面压强  $p_0$ ？
- 4、实验时，密封容器内的水面能不能低于 A 点，为什么？

## 七、实验报告

1、实验目的：

2、实验要求：

3、计算公式：

4、实验记录及计算值：（实验仪器编号：\_\_\_\_\_）

a、有关常数：

A 点高程  $\nabla_A =$  \_\_\_\_\_ cm； B 点高程  $\nabla_B =$  \_\_\_\_\_ cm；

B、量测记录表格：（注意指导和记录所示仪器与实际仪器的编号不同）

容器内液面 压强工况	测次	测管液面高程读数 (cm)						备注
		$\nabla_1$	$\nabla_2$	$\nabla_3$	$\nabla_4$	$\nabla_5$	$\nabla_6$	
$p_0 = p_a$	1							
$p_0 > p_a$	1							
	2							
	3							
$p_0 < p_a$	1							
	2							
	3							

记录：

指导教师(签字)：

c、计算表格:

容器内液面 压强工况	测次	测管液面高程差 (cm)				
		$\nabla_2 - \nabla_1$	$\nabla_4 - \nabla_3$	$\nabla_6 - \nabla_5$	$\nabla_5 - \nabla_A$	$\nabla_3 - \nabla_B$
$p_0 = p_a$	1					
$p_0 > p_a$	1					
	2					
	3					
$p_0 < p_a$	1					
	2					
	3					

容器内 液面 压强 工况	测次	测管液面高程差 (N/cm <sup>2</sup> )					油重度
		$p_0 =$ $\gamma(\nabla_6 - \nabla_5)$	$p'_A = \gamma h_A$	$p_A =$ $p_0 + p'_A$	$p'_B = \gamma h_B$	$p_B =$ $p_0 + p'_B$	$\gamma_{油} =$ $\frac{p_0}{\nabla_2 - \nabla_1}$
$p_0 > p_a$	1						
	2						
	3						
$p_0 < p_a$	1						
	2						
	3						

5、实验成果分析及讨论:

6、实验心得及对本实验的改进意见:

## 贰、流线演示实验

### 一、实验目的

1、应用流动演示仪演示各种不同边界条件下的水流形态，以观察在不同边界条件下的流线、旋涡等，增强对流体运动特性的认识。

2、应用流动演示仪演示水流绕过不同形状物体的驻点、尾流、涡街现象及非自由射流等，增强对这些现象的感性认识。

### 二、实验设备和仪器

流线可以形象地显示各种水流形态及其水流内部质点运动的特性。而通过各种演示设备就可以演示出流线。常用的有烟风洞、氢气泡显示设备，及流动演示仪等。现以流动演示仪为例加以说明。

图 2-1 为流动演示仪的示意图，该仪器用有机玻璃制成，通过在水流中掺气的方法，演示不同边界条件下的多种水流现象，并显示相应的流线。整个仪器有不同的单元组成。每个单元都是一套独立的装置，可以单独使用，亦可同时使用。

### 三、实验步骤

#### （一）、操作程序

- 1、接通电源，打开开关。
- 2、用调节进气量旋钮，调节气泡大小。

#### （二）演示内容

I 型：显示圆柱绕流等的流线，该单元装置能十分清楚地显示出流体在驻点处的停滞现象、边界层分离状态分离状况及卡门涡街现象。

1、驻点：观察流经圆柱前端驻点处的小气泡运动特性，可了解流速与压强沿圆柱周边的变化情况。

2、边界层分离：流线显示了圆柱绕流边界层分离现象，可观察边界层分离点的位置及分离后的回流形态。

3、卡门涡街：即圆珠柱的轴与水流方向垂直，在圆柱的两个对称点上产生边界层分离，然后不断交替在圆柱下游两侧产生旋转方向相反的旋涡，并流向下流。

II 型：显示桥墩、机翼绕流的流线。

该桥墩为圆珠笔头方尾的绕流体。水流在桥墩后的尾流区内也产生卡门涡街，并可观察水流绕过机翼时的运动状态。

III 型：显示逐渐收缩、逐渐扩散及通过孔板（或丁坝）纵剖面上的流线图像。

1、在逐渐收缩段，流线均匀收缩，无旋涡产生；在逐渐扩散段可看到边界

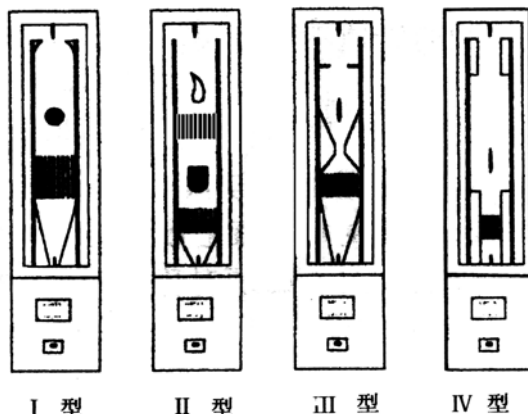


图 2-1

层层分离而产生明显的漩涡。

2、在孔板前，流线逐渐收缩，汇集于孔板的过流孔口处，只在拐角处有一小漩涡出现；孔板后水流逐渐扩散，并在主流区周围形成较大的漩涡回流区。

IV型：显示管道突然扩大和突然收缩时的管道纵剖面上的流线图像。

1、在突然扩大段出现强烈的漩涡区。

2、在突然收缩段仅在拐角处出现漩涡。

3、在直角转变处，流线弯曲，越靠近弯道内侧流速越小，由于水流通道很不畅顺，回流区范围较广。

#### 四、注意事项

此处注意调节进气阀的进气量，使气泡大小适中，流动演示更清晰。

#### 五、思考题

1、漩涡区与水流能量损失有什么关系？

2、指出演示设备中的急变流区。

3、空化现象为什么常常发生在漩涡区中？

4、卡门涡街具有什么特征？对绕流物体有什么影响？

### 参、能量(伯努利)方程实验

#### 一、实验目的

1、观察恒定流的情况下，当管道断面发生改变时水流的位置势能、压强势能、动能的沿程转化规律，加深对能量方程的物理意义及几何意义的理解。

2、观察均匀流、渐变流断面及其水流特征。

3、掌握急变流断面压强分布规律。

4、测定管道的测压管水头和总水头值，并绘制管道的测压管水头线及总水头线。

#### 二、实验原理

实际液体在有压管道中作恒定流动时，其能量方程如下：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

它表明：液体在流动的过程中，液体的各种机械能（单位位能、单位压能和单位动能）是可以相互转化的。但由于实际液体存在粘性，液体运动时为克服阻力而要消耗一定的能量，也就是一部分机械能转化为热能而散逸，即水头损失。因而机械能应沿程减少。

对于均匀流和渐变流断面，其压强分布符合静水压强分布规律：

$$z + \frac{p}{\rho g} = C \text{ 或 } p = p_0 + \rho gh$$

但不同断面的 C 值不同。

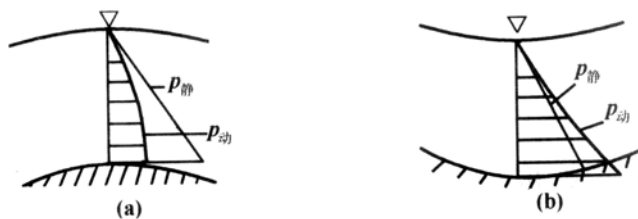


图 3—1

对于急变流，由于流线的曲率较大，因此惯性力亦将影响过水断面上的压强分布规律：

上凸曲面边界上的急变流断面如图 3—1 (a)，离心力与重力方向相反，所以  $p_{动} < p_{静}$ 。

下凹曲面边界上的急变流断面如图 3—1 (b)，离心力与重力方向相同，所以  $p_{动} > p_{静}$ 。

### 三、实验设备

实验设备及各部分名称如图 3—2 所示。

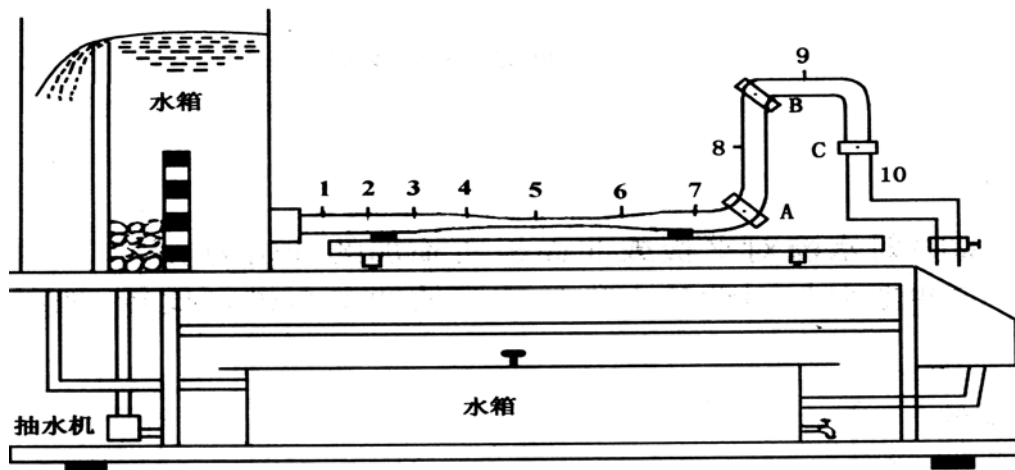


图 能量方程实验仪

### 四、实验步骤

- 1、分辨测压管与毕托管检查橡胶管接头是否接紧。
- 2、启动抽水机，打开进水阀，使水箱充水并保持溢流，使水位恒定。
- 3、关闭尾阀  $k$ ，检查测压管和毕托管的液面是否齐平。若不平，则需要检查管路中是否存在气泡并排出。
- 4、打开尾阀  $k$ ，量测测压管及毕托管水头。
- 5、观察急变流断面 A 和 B 处的压强分布规律。
- 6、本实验其做四次。

## 五、实验要求及注意事项

1、在管流流量  $Q$  固定不变的情况下，观察管段内流体在不同位置的测压管水头线；

2、在某一级稳定流情况下，测定沿流各过水断面的平均位置高度  $z$ 、测压管高度  $\frac{p}{\rho g}$ 、流速水头  $\frac{\alpha v^2}{2g}$  及总水头  $H$  值。

3、尾阀  $k$  开启一定要缓慢，并注意测压管中的水位的变化，不要使测压管水面下降太多，以免空气倒吸入管路系统，影响实验进行。

4、流速较大时，测压管水面有脉动现象，读数要读取均值。

## 六、思考题

- 1、实验中哪个测压管水南下降最大？为什么？
- 2、毕托管中的水面高度能否低于测压管中的水面高度？
- 3、在逐渐扩大的管路中，测压管水头线是怎样变化的？

## 七、实验报告

### 1、实验目的

### 2. 实验及计算值:

仪器编号: \_\_\_\_\_ 其他有关仪器常数: \_\_\_\_\_

测次	测压管液面高程读数 (cm)									
	$\nabla_1$	$\nabla_2$	$\nabla_3$	$\nabla_4$	$\nabla_5$	$\nabla_6$	$\nabla_7$	$\nabla_8$	$\nabla_9$	$\nabla_{10}$
1										
2										

测次	毕托管液面高程读数 (cm)									
	$\nabla_1$	$\nabla_2$	$\nabla_3$	$\nabla_4$	$\nabla_5$	$\nabla_6$	$\nabla_7$	$\nabla_8$	$\nabla_9$	$\nabla_{10}$
1										
2										



测次	急变流断面测管液面读数 (cm)						常规断面测管液面读数		
	▽ <sub>11</sub>	▽ <sub>12</sub>	▽ <sub>13</sub>	▽ <sub>14</sub>	▽ <sub>15</sub>	▽ <sub>16</sub>	▽ <sub>17</sub>	▽ <sub>18</sub>	▽ <sub>19</sub>
1									
2									

记录:

指导教师签字:

3. 绘制测压管水头线及总水头线

4. 成果分析、实验小结讨论及对本实验的改进意见

完成实验报告日期: \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

## 肆、动量方程实验

### 一、实验目的

- 1、测定管嘴喷射水流对平板或曲面板所施加的冲击力。
- 2、将测出的冲击力与动量方程计算出的冲击力进行比较，加深对动量方程的理解。

### 二、实验原理

应用力矩平衡原理如图 4-1，求射流对平面和曲面板的作用力。

力矩平衡方程：

$$FL = GL_1, \quad F = \frac{GL_1}{L}$$

式中： $F$ —射流作用力； $L$ —作用力力臂；

$G$ —砝码重量； $L_1$ —砝码力臂。

恒定总流的动量方程为

$\sum F = \rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1)$ ，若令  $\beta_2 = \beta_1 = 1$ ，且只考虑其中水平方向作用力，则可求得射流对面板和曲面板的作用力公式为：

$$F = \rho Qv(1 - \cos \alpha)$$

式中： $Q$ —管嘴的流量； $v$ —管嘴的流速； $\alpha$ —射流射向平面或曲面板后的偏转角度。

$$\alpha = 90^\circ \text{ 时, } F_{\text{平}} = \rho Qv \quad F_{\text{平}} \text{—水流对平板的冲击力;}$$

$$\alpha = 135^\circ \text{ 时, } F = \rho Qv(1 - \cos 135^\circ) = 1.707 \rho Qv = 1.707 F_{\text{平}}$$

$$\alpha = 180^\circ \text{ 时, } F = \rho Qv(1 - \cos 180^\circ) = 2 \rho Qv = 2 F_{\text{平}}$$

### 三、实验设备

实验设备及各部分名称见图 4-1。

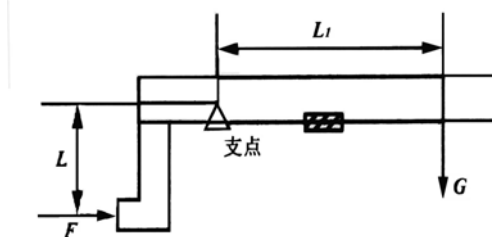


图 4-1

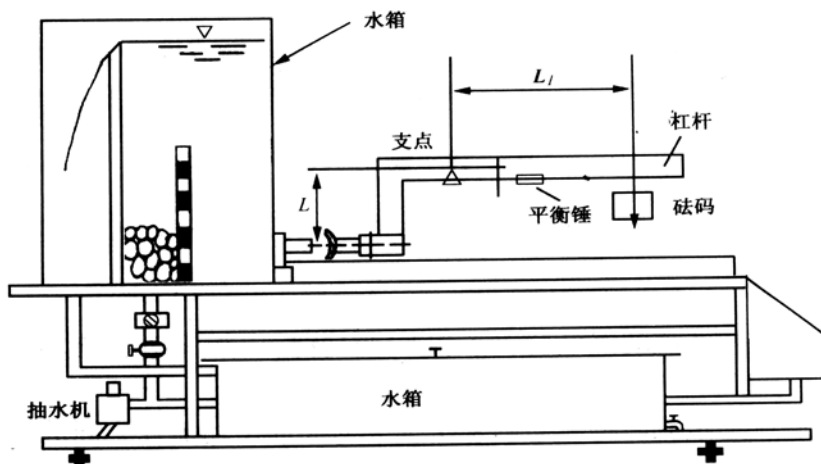


图 4-2 动量原理实验仪

#### 四、实验步骤

- 1、测记有关常数；
- 2、安装平板，调节平衡锤位置，使杠杆处于水平状态；
- 3、启动抽水机，使水箱充满水并保持溢流。此时，水流从管嘴射出，冲击平板中心，标尺倾斜。加砝码并调节砝码位置，使杠杆处于水平状态，达到力矩平衡。记录砝码质量和力臂  $L_1$ 。
- 4、用体积法测量流量  $Q$  用以计算  $F_{理}$ ；
- 5、改变溢流板高度，使水头和流量变化，重复上述步骤；
- 6、将平板更换为曲面板（ $\alpha = 135^\circ$  及  $\alpha = 180^\circ$ ）又可实测和计算不同流量的作用力；
- 7、关闭抽水机，将水箱中的水排空，砝码从杠杆上取下，实验结束。

#### 五、注意事项及要求

- 1、量测流量后，量筒内的水必须倒进接水器，以保证水箱循环水充足；
- 2、测流量时，计时与量筒接水与离开均需要同步进行，以减小流量的量测误差；
- 3、测流量一般测取两次，取平均值，以消除误差。

#### 六、思考题

- 1、 $F_{实}$  与  $F_{理}$  有差异，除实验误差外还有什么原因？
- 2、流量很大与很小时，各对实验精度有什么影响？
- 3、实验中，平衡锤产生的力矩没有加以考虑，为什么？

#### 七、实验报告

- 1、实验目的：

- 2、实验数据及计算

所使用仪器编号：\_\_\_\_\_

- a 有关常数：

喷嘴直径  $d =$  \_\_\_\_\_ cm  
 喷嘴断面面积  $A =$  \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>  
 射流作用力力臂  $L =$  \_\_\_\_\_ cm

b 量测记录及计算表格

板的 形式	测 次	实测射流作用力			计算射流作用力					相对误差
		力臂 $L_1$	砝码质量 $m$	$F_{\text{实测}}$	水体积 $v$	时 间 $t$	流 量 $Q$	流 速 $v$	$F_{\text{理论}}$	$\frac{ F_{\text{理论}} - F_{\text{实测}} }{F_{\text{理论}}} \times 100\%$
		cm	g	N	cm <sup>3</sup>	s	cm <sup>3</sup> /s	cm/s	N	
90° 平 板	1									
	2									
	3									
135° 曲 面 板										
180° 曲 面 板										

记录: \_\_\_\_\_

指导教师(签字): \_\_\_\_\_

3、成果分析及讨论:

报告完成时间: \_\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日

## 伍、雷诺实验

### 一、实验目的

- 1、观察层流和紊流的流动特征及转变情况，以加深对层流、紊流形态的感性认识。
- 2、测定层流和紊流两种流态的水头损失与断面平均流速之间的关系。
- 3、绘制水头损失  $h_f$  和断面平均流速的对数关系曲线，并计算图中的斜率  $m$  和临界雷诺数  $R_{e_c}$ 。

### 二、实验原理

同一种液体在同一管道中流动，当流速不同时，液体在运行中有两种不同的流态。当流速较小时，管中水流的全部质点以平行而不互相混杂的方式分层流动，这种形态的流体流动称为层流。当流速较大时，管中水流各质点间发生相互混杂的运动，这种形态的液体流动称为紊流。

层流与紊流的沿程水头损失规律不一样，根据试验，水头损失与断面平均流速之间的关系式用  $h_f = kv^m$  表示，层流状态时，沿程水头损失大小与断面平均流速的 1 次方成正比，即  $h_f \propto v^{1.0}$ ；而在紊流状态时，沿程水头损失大小与断面平均流速的 1.75 ~ 2.00 次方成正比，即  $h_f \propto v^{1.750 \sim 2.0}$ 。

每大实验设备的管径一定，当水箱水位保持不变时，管内即产生恒定流，沿程水头损失  $h_f$  与断面平均流速  $v$  的关系可由能量方程导出：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f$$

当管径不变时， $v_1 = v_2$ ，取  $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1.0$ ，

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

（ $\Delta h$ ）值由压差计读取。

在圆管流动中采用雷诺为大观数来判别流态：

$$R_e = \frac{vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d \nu} = kQ ; \quad k = \frac{4}{\pi d \nu}$$

式中： $k$ —系数； $\nu$ —水流的运动粘滞系数； $d$ —圆管直径； $Q$ —流量

当  $R_e < R_{e_c}$ （下临界雷诺数）时为层流状态， $R_{e_c} = 2320$ ；

当  $R_e > R_{e_c}'$ （上临界雷诺数）时为层流状态， $R_{e_c}'$  在 4000 ~ 12000 之间。

### 三、实验设备

实验设备及相应部分的名称见图 5-1 所示

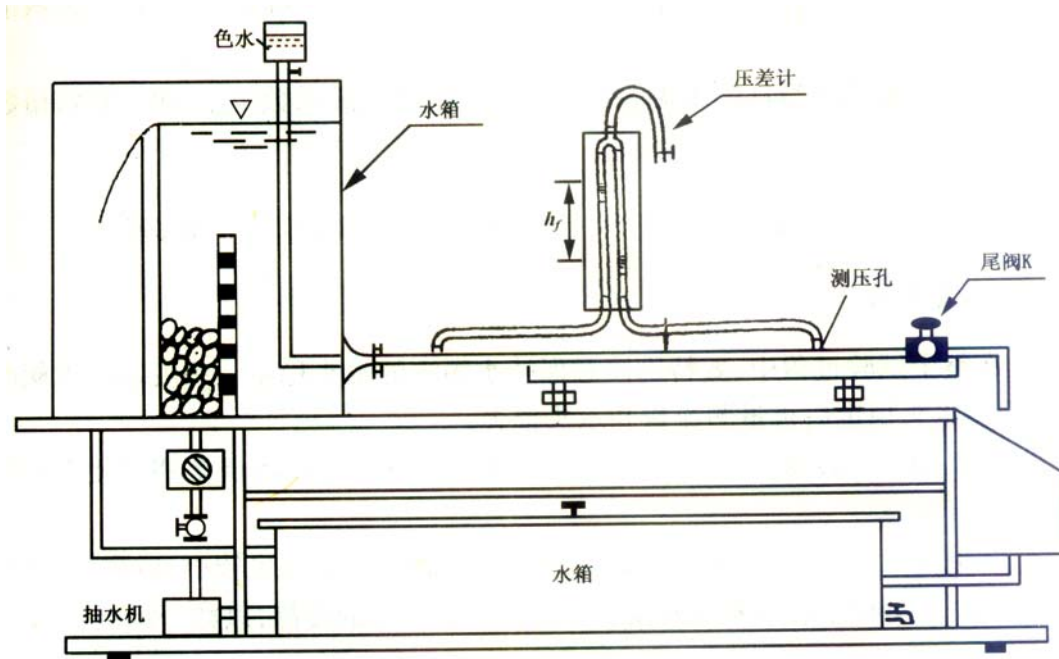


图 5—1 雷诺实验仪

### 四、实验步骤

#### 1. 观察流动状态

将进水管打开使水箱充满水，并保持溢流状态；然后用尾阀调节流量，将阀门以极慢速打开，待水流稳定后，注入有色指示剂。当有色指示剂在试验管中呈现一条稳定而且明显的流线时，管内即为层流流态。

随后渐渐开大尾阀门，增大流量，这时有色指示剂开始颤动、弯曲，并逐渐扩散，当扩散至全管，水流紊乱到已看不清有以指示剂着色的流线时，此时即为紊流流态。

#### 2. 测定 $h_f \sim v$ 的关系及临界雷诺数

1) 熟悉仪器，测记有关常数。

2) 检查尾阀全关时，压差计液面是否齐平，若不平，则需排气调平。

3) 将尾部阀门开至最大，然后逐步关小阀门，使管内流量逐步减少；每改变一次流量，均待水流平稳后，测定每次的流量、水温和试验段的水头损失（即压差）。流量  $Q$  用体积法测量。用量筒量测水的体积  $V$ ，用秒表计时间  $T$ 。流量  $Q = \frac{V}{T}$ 。

相应的断面平均流速  $v = \frac{Q}{A}$ 。

4) 流量用尾阀调节，共做 10 次。当  $Re_c < 2500$  时，为精确起见，每次压差减小值只能为 3~5mm。

5) 用温度计量测当日的水温，由此可查得运动粘滞系数  $\nu$ ，从而计算雷诺

数  $R_e = \frac{vd}{\nu}$ 。

6) 相反，将调节阀由小逐步开大，管内流速慢慢加大，重复上述步骤。

## 五、注意事项

1. 在整个试验过程中，要特别注意保持水箱内的水头稳定。每变动一次阀门开度，均待水头稳定后再量测流量和水头损失。

2. 在流动形态转变点附近，流量变化的间隔要小些，使测点多些以便准确测定临界雷诺数。

3. 在层流流态时，由于流速  $v$  较小，所以水头损失  $h_f$  值也较小，应耐心、细致地多测几次。同时注意不要碰撞设备并保持实验环境的安静，以减少扰动。

## 六、思考题

1. 要使注入的颜色水能确切反映水流状态，应注意什么问题？

2. 如果压差计用倾斜管安装，压差计的读数差是不是沿程水头损失  $h_f$  值？

管内用什么性质的液体比较好？其读数怎样进行换算为实际压强差值？

3. 为什么上、下临界雷诺数值会有差别？

4. 为什么不用临界流速来判别层流和紊流？

## 七、实验报告

1、实验目的

2、实验要求

3、计算公式：

4、实验及计算：(仪器编号：\_\_\_\_\_)

1) 有关常数：

① 管径  $d =$  \_\_\_\_\_ cm

- ② 断面面积  $A=\pi d^2/4=$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2$   
 ③ 水温  $t=$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$   
 ④ 运动粘滞系数  $\nu=$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2/\text{s}$ 。

2) 量测记录表格:

测 次	项目	量杯充水体积	充水时间	测管液面高程读数	
	数值	V	T	$\nabla_1$	$\nabla_2$
		$\text{cm}^3$	s	cm	cm
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

指导老师: 签字\_\_\_\_\_

3) 计算表格

目 测 次	项	流量	平均流速	lgv	测管液面高差	lg $h_f$	$R_e$
	数值	$Q = \frac{V}{T}$	$v = \frac{Q}{A}$		$\Delta h = \nabla_2 - \nabla_1$		
		$\text{cm}^3/\text{s}$	cm/s		cm		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							



4) 用方格厘米纸或双对数纸绘制  $\lg h_f \sim \lg v$  曲线，并计算层流及紊流时的斜率  $m$  值。

5、成果分析研究及小结

## 陆、管道沿程水头损失实验

### 一、实验目的

- 1、掌握测定管道沿程水头损失系数  $\lambda$  的方法；
- 2、绘制沿程水头损失与雷诺数  $R_e$  的对数关系曲线。

### 二、实验原理

对通过一等直径管道中的恒定水流，在任意两过水断面 1—1、2—2 上写能量方程，可得

$$h_f = (z_1 + p_1 / \rho g) - (z_2 + p_2 / \rho g)$$

同时，我们知道沿程水头损失的表达式：

$$h_f = \lambda \frac{l v^2}{d 2g}$$

则沿程水头损失系数  $\lambda$  为

$$\lambda = \frac{(z_1 + p_1 / \rho g) - (z_2 + p_2 / \rho g)}{\frac{l v^2}{d 2g}} = \frac{h_f}{\frac{l v^2}{d 2g}}$$

一般可认为  $\lambda$  与相对粗糙度  $\frac{K_s}{d}$  及雷诺数  $R_e$  有关。即  $\lambda = f(\frac{K_s}{d}, R_e)$ 。

### 三、实验设备

实验设备及部分名称如图 6—1 所示。

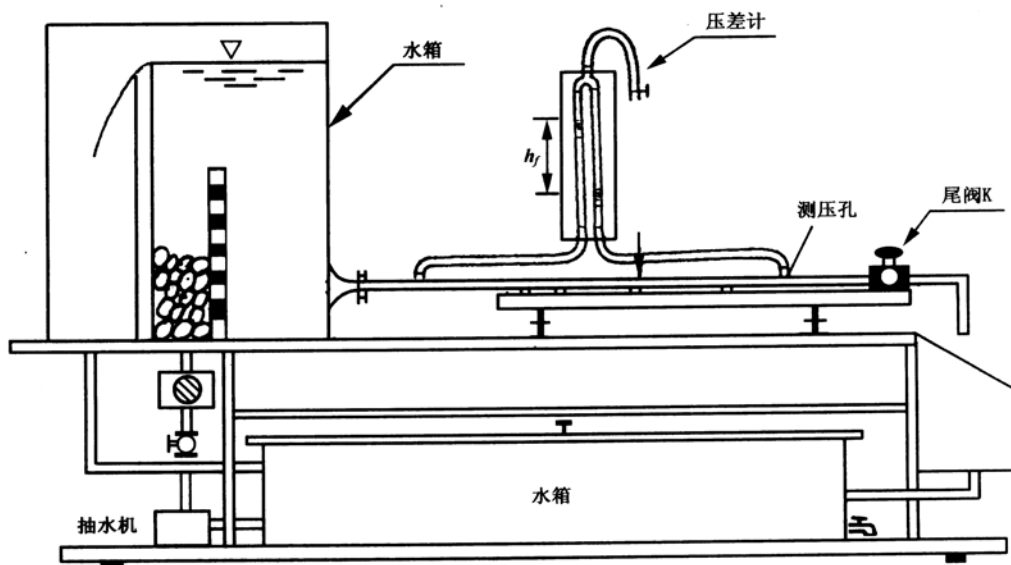


图 沿程水头损失实验仪

#### 四、实验步骤

- 1、熟悉实验设备，记录有关常数。
- 2、启动抽水机，打开进水阀门，使水箱充水，并保持溢流，使水位恒定。
- 3、检查尾阀 K 全关时，压差计的液面是否齐平，若不平，则需要排气调平。
- 4、调节尾阀 K，使流量在压差计量程内达到最大，待水流稳定后记录压差计读数，水温并量测其流量，流量用体积法量测。
- 5、逐渐关闭尾阀 K，依次减少流量，量测各次流量和相应的压差值。共做 10~15 次。
- 6、用温度计测记本次实验的水温  $t$ 。并查得相应的  $\nu$  值，从而可计算出相应于每次流量下的雷诺数  $R_e$  值。

#### 五、注意事项

- 1、每次关闭尾阀 K 时要缓慢关闭，在层流时，压差为 3~5mm，在紊流时，压差要适当大些。
- 2、由于水流紊动原因，压差计液面有微小波动，当流速较大时，尤为显著。需待水流稳定时，读取，读取上、下波动范围的平均值。
- 3、测记水温，求雷诺数时用开始和终了两次水温的平均值求  $\nu$ 。

#### 六、思考题

- 1、如将实验管道倾斜安装，压差计中的读数差是不是沿程水头损失  $h_f$  值？
- 2、随着管道使用年限的增加， $\lambda \sim R_e$  关系曲线有什么变化？
- 3、本实验中的物理量有  $d$ 、 $l$ 、 $Q$ 、 $h_f$  和水温  $t$ ，其中哪些物理量的量测精度对  $\lambda$  值的误差影响最大？
- 4、如生产需要，拟测定工业塑料管的  $\lambda$  值，应如何进行实验？

#### 七、实验报告

1、实验目的：

2、实验要求：

3、计算公式：

4、实验数据及计算值：

仪器编号：\_\_\_\_\_

1) 有关常数：

- ①管道直径  $d =$  \_\_\_\_\_ cm；②管道面积  $A =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2$ ；  
 ③计算长度  $L =$  \_\_\_\_\_ cm；④  $L/d =$  \_\_\_\_\_；  
 ⑤水温  $t =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ ；⑥运动粘滞系数  $\nu =$  \_\_\_\_\_  $\text{cm}^2/\text{s}$ 。

2) 量测记录表格：

测 次	项目 数 值	测压管液面高程读数		量杯充水体积	充水时间
		$\nabla_1$	$\nabla_2$	V	T
		cm	cm	$\text{cm}^3$	s
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

记录：\_\_\_\_\_

指导教师：（签字）\_\_\_\_\_

3) 计算表格

项目 测 次	实测 流量	平均 流速	流 速 水 头	测压管 高差	$l/d$	$\lambda = \frac{h_f}{l \frac{v^2}{d 2g}}$	$\lg 100\lambda$	$R_e = \frac{vd}{\nu}$	$\lg R_e$
	Q	v	$\frac{v^2}{2g}$	$\Delta h = \nabla_2 - \nabla_1$					
	$cm^3/s$	$cm/s$	$cm^2$	$cm$					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

4、绘制  $\lg 100\lambda \sim \lg R_e$  曲线（用方格纸或双对数纸）

5、成果分析及小结

6、对本实验有什么建议或改进意见:

实验报告完成日期: \_\_\_\_\_年\_\_月\_\_日

## 柒、管道局部水头损失实验

### 一、实验目的

- 1、掌握测定管道局部水头损失系数 $\zeta$ 的方法。
- 2、将管道局部水头损失系数的实测值与理论值进行比较；
- 3、观察管径突然扩大时旋涡区测压管水头线的变化情况，以及其他各种边界突变情况下的测压管水头线的变化情况。

### 二、实验原理

由于边界形状的急剧改变，主流就会与边界分离出现旋涡以及水流流速分布的改组，从而消耗一部分机械能。单位重量液体的能量损失就是局部水头损失。

边界形状的改变有水流断面的突然扩大或突然缩小，弯道及管路上安装阀门等。

局部水头损失常用流速水头与一系数的乘积表示：

$$h_j = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

式中： $\zeta$ —局部水头损失系数，也叫局部阻力系数。系数 $\zeta$ 是流动形态与边界形状的函数，即 $\zeta = f(R_e, \text{边界形状})$ 。一般水流 $R_e$ 数足够大时，可认系数 $\zeta$ 不再随 $R_e$ 数而变化，而看作一常数。

管道局部水头损失目前仅有突然扩大可采用理论分析，并可得足够精确的结果。其他情况则需要用实验的方法测定 $\zeta$ 值。突然扩大的局部水头损失可应用动量方程与能量方程及连续方程联合求解得到如下公式：

$$h_j = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g}, \quad \zeta_2 = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2$$

$$h_j = \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g}, \quad \zeta_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

式中： $A_1$ 和 $v_1$ 分别为扩大段上游的断面积和平均流速， $A_2$ 和 $v_2$ 分别为突然扩大下游管段的断面积和平均流速。

### 三、实验设备

实验设备及部分名称如图 7—1 所示。

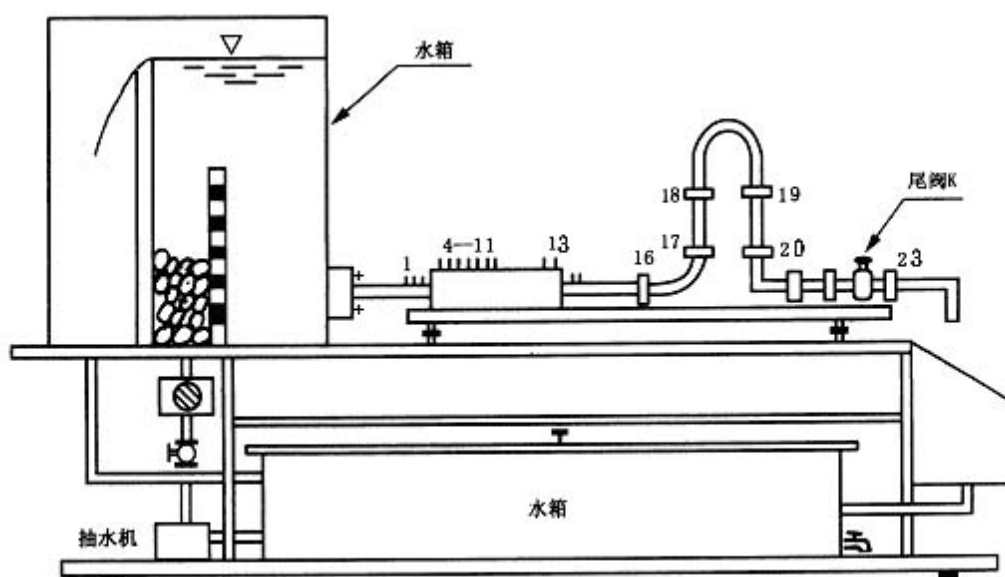


图 局部水头损失实验仪

#### 四、实验步骤

- 1、熟悉仪器，记录有关常数。
- 2、检查各测压管的橡皮管接头是否接紧。
- 3、启动抽水机，打开进水阀门，使水箱充水，并保持溢流，使水位恒定。
- 4、检查尾阀  $K$  全关时，测压管的液面是否齐平，若不平，则需要排气调平。
- 5、慢慢打开尾阀  $K$ ，使流量在测压管量程范围内最大，待流动稳定后，记录测压管液面标高，用体积法测量流量。
- 6、调节尾阀改变流量，重复三次。

#### 五、注意事项

- 1、实验必须在水流稳定后方可进行。
- 2、计算局部水头损失系数时，应注意选择相应的流速头，所选量测断面应选在渐变流段面上，尤其下游断面应选在漩涡区的末端，即主流恢复并充满全管的断面上。

#### 六、思考题

- 1、试分析实测  $h_j$  与理论计算  $h_j$  有什么不同，原因何在？
- 2、如果忽略管段的沿程损失  $h_f$ ，所测出的  $\zeta$  值比实际的偏大还是偏小？在工程中使用此值是否安全？
- 3、在相同管径变化条件下，相应于同一流量，其突然扩大的  $\zeta$  值是否一定大于突然缩小的  $\zeta$  值？
- 4、不同的  $R_e$  数时，局部水头损失系数  $\zeta$  值是否相同？通常  $\zeta$  值是否为一常



数？

## 七、实验报告

### 1、实验目的

### 2、实验要求

### 3、计算公式

4、实验数据及计算（仪器编号：\_\_\_\_\_）实验日期：\_\_\_\_\_

1) 有关常数：

大管直径  $D=$ \_\_\_\_\_  $cm$ ；大管断面面积  $A_1=$ \_\_\_\_\_  $cm^2$ ；

小管直径  $d=$ \_\_\_\_\_  $cm$ ；小管断面面积  $A_2=$ \_\_\_\_\_  $cm^2$ ；

2) 量测记录表格（注意指导和记录所示仪器与实际仪器的编号不同）

项 测 目 次	测管液面高程读数														
	$\nabla_1$	$\nabla_2$	$\nabla_3$	$\nabla_4$	$\nabla_5$	$\nabla_6$	$\nabla_7$	$\nabla_8$	$\nabla_9$	$\nabla_{10}$	$\nabla_{11}$	$\nabla_{12}$	$\nabla_{13}$	$\nabla_{14}$	$\nabla_{15}$
	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$
1															
2															
3															

项 测 目 次	测管液面高程读数								量水体积			量水时间		
	$\nabla_{16}$	$\nabla_{17}$	$\nabla_{18}$	$\nabla_{19}$	$\nabla_{20}$	$\nabla_{21}$	$\nabla_{22}$	$\nabla_{23}$	V			T		
	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm$	$cm^3$			s		
1														
2														
3														

记录：

指导教师（签字）

3) 计算表格 ①突然扩大

项 测 目 次	实测流量	平均流速	流速水头	平均流速	流速水头	测压管高差	流速水头	局部水头损失	$\xi_{\text{实测}}$	$\xi_{\text{理论}}$
	$Q = \frac{V}{T}$	$v_1$	$\frac{v_1^2}{2g}$	$v_2$	$\frac{v_2^2}{2g}$	$\Delta h = \nabla_3 - \nabla_9$	$\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$	$h_j$		
	$\text{cm}^3/\text{s}$	$\text{cm}/\text{s}$	$\text{cm}$	$\text{cm}/\text{s}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$		
1										
2										
3										

②突然缩小

项 测 目 次	实测流量	平均流速	流速水头	平均流速	流速水头	测压管高差	流速水头	局部水头损失	$\xi_{\text{实测}}$
	$Q = \frac{V}{T}$	$v_1$	$\frac{v_1^2}{2g}$	$v_2$	$\frac{v_2^2}{2g}$	$\Delta h = \nabla_{12} - \nabla_{13}$	$\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$	$h_j$	
	$\text{cm}^3/\text{s}$	$\text{cm}/\text{s}$	$\text{cm}$	$\text{cm}/\text{s}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	
1									
2									
3									

③90°圆角转弯

项 测 目 次	实测流量	平均流速	流速水头	测压管高差	局部水头损失	$\xi_{\text{实测}}$
	$Q = \frac{V}{T}$	$v$	$\frac{v^2}{2g}$	$\Delta h = \nabla_{15} - \nabla_{16}$	$h_j$	
	$\text{cm}^3/\text{s}$	$\text{cm}/\text{s}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	
1						
2						
3						

④180°圆角转弯

项 测 目 次	实测流量	平均流速	流速水头	测压管高差	局部水头损失	$\xi_{\text{实测}}$
	$Q = \frac{V}{T}$	$v$	$\frac{v^2}{2g}$	$\Delta h = \nabla_{17} - \nabla_{18}$	$h_j$	
	$\text{cm}^3/\text{s}$	$\text{cm}/\text{s}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	
1						
2						
3						

⑤90°折角转弯

项 测 目 次	实测流量	平均流速	流速水头	测压管高差	局部水头损失	$\xi_{\text{实测}}$
	$Q = \frac{V}{T}$	$v$	$\frac{v^2}{2g}$	$\Delta h = \nabla_{19} - \nabla_{20}$	$h_j$	
	$cm^3/s$	$cm/s$	$cm$	$cm$	$cm$	
1						
2						
3						

5、绘制最大流量下突然扩大测压管水头线

实验报告完成日期:

## 捌、文德里流量计及孔板流量计实验

### 一、实验目的

1. 了解文德里和孔板流量计测流量的原理及其简单构造。
2. 绘出压差与流量的关系，确定文德里流量计和孔板流量计的系数  $\mu$ 。

### 二、实验原理

文德里流量计是在管道中常用的流量计。它包括收缩段、喉管、扩散段三部分。由于喉管过水断面的收缩，该断面水流动能加大，势能减小，造成收缩段前后断面压强不同而产生的势能差。此势能差可由压差计测得。

孔板流量计原理与文德里流量计相同，根据能量方程和连续方程以及等压曲原理可得出不计阻力作用时的文德里流量计（孔板流量计）的流量计算公式：

$$Q_{理} = K\sqrt{\Delta h}$$

式中：
$$K = \frac{\pi}{4} \frac{D^2 d^2}{\sqrt{D^2 - d^2}} \sqrt{2g};$$

$$\Delta h = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g}\right) = \begin{matrix} h_1 - h_2 \text{ (文德里)} \\ h_1 - h_2 + h_3 - h_4 \text{ (孔板)} \end{matrix}$$

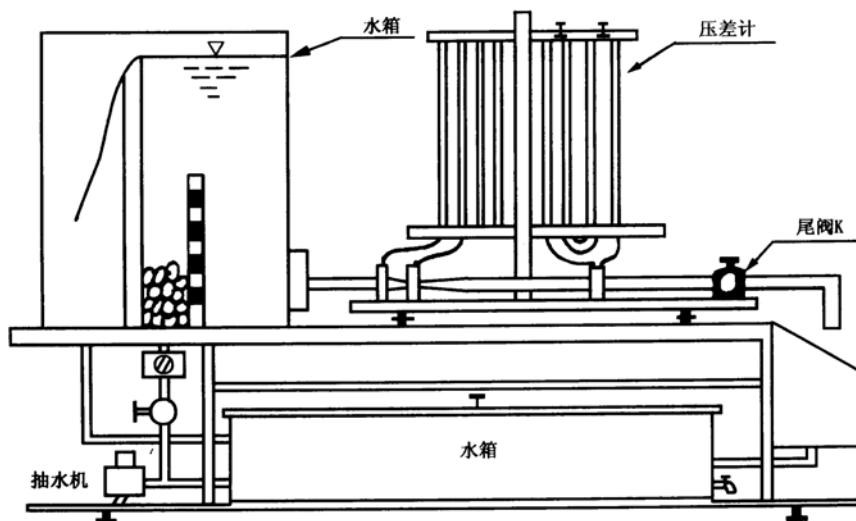
根据实验室的设备条件，管道的实测流量  $Q_{实}$  可由体积法测出。

在实际液体中，由于阻力的存在，水流通过文德里流量计（或孔板流量计）时有能量损失，故实际通过的流量  $Q_{实}$  一般比  $Q_{理}$  稍小，因此在实际应用时，上式应予以修正，实测流量与理想流体情况下的流量之比称为流量系数，即

$$\mu = \frac{Q_{实}}{Q_{理}}$$

### 三、实验设备

实验设备与各部分名称如右图所示。



## 四、实验步骤

1. 熟悉仪器，记录有关数据。
2. 启动抽水机，打开进水开关，使水进入水箱，并使水箱水面保持溢流，使水位恒定。
3. 检查尾阀全关时，压差计的液面是否齐平，若不平，则需排气调平。
4. 调节尾阀 K，依次增大流量和依次减小流量。量测各次流量相应的压差值。共做 10 次。流量 Q 用体积法测量。用量筒量测水的体积 V，用秒表记录时间 T。流量  $Q_{\text{实}}=V/T$ 。

## 五、注意事项

1. 改变流量时，需待开关改变后，水流稳定之后（至少需 3~5 分钟），方可记录。
2. 当管内流量较大时，测压管内水面会有波动现象。可读取波动水面的最高与最低读数的平均值作为该次读数。

## 六、思考题

1. 收缩断面前与收缩断面后相比，哪一个压强大？为什么？
2. 实验求出的  $\mu$  值是大于 1，还是小于 1？是否合理？
3. 假如通过文德里流量计和孔板流量计的液体是理想液体，当流量不变时，压差比通过实际液体时的大了还是小了？
4. 每次测出流量系数  $\mu$  值是否是常数？若不是常数则与哪些因素有关？

## 七、实验报告

### 1、实验目的

### 2、实验要求

### 3、计算公式

4、实验及计算：

1) 有关常数：

文德里管管道直径  $D=$ \_\_\_\_\_ cm；文德里管喉管直径  $d=$ \_\_\_\_\_ cm；

孔板管道直径  $D=$ \_\_\_\_\_ cm；孔板孔口直径  $d=$ \_\_\_\_\_ cm。

2) 实验记录表格

文德里、孔板实验记录

项 目 次	测管液面高程读数						量水 体积	量水 时间
	文德里管		孔板					
	$\nabla_1$	$\nabla_2$	$\nabla_3$	$\nabla_4$	$\nabla_5$	$\nabla_6$	V ( $\text{cm}^3$ )	T s
	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

记录：\_\_\_\_\_ 实验日期：\_\_\_\_\_ 指导教师（签字）\_\_\_\_\_

3) 计算表格

①文德里管

测 公 式 次	项目	测压管高差	实测流量	K	理论流量	流量系数
	$\Delta h = \nabla_2 - \nabla_1$	$Q_{\text{实}} = \frac{V}{T}$	$Q_{\text{理}} = K\sqrt{\Delta h}$		$\mu = \frac{Q_{\text{实}}}{Q_{\text{理}}}$	
	cm	$\text{cm}^3/\text{s}$	$\text{cm}^3/\text{s}$			

② 孔板

测次	项目	测压管高差	实测流量
	公式	$\Delta h = \nabla_3 - \nabla_4 + \nabla_5 - \nabla_6$	$Q_{\text{实}} = \frac{V}{T}$
		cm	cm <sup>3</sup> /s

5、绘制文德里管（ $\Delta h$ ）与实测流量 $Q_{\text{实}}$ 的关系曲线（用方格纸，比例自选）

## 6、成果分析及小结

报告完成日期:

## 玖、有压渗流的水电比拟实验

### 一、实验目的

1、根据渗流的水电比拟法的实验原理，掌握仪器设备的连接和使用，并用电拟法绘制有压渗流流网。

2、测定平面有压渗流等势线的方法，并据此等势线绘制流网，再由流网确定渗流流量、渗流流速和渗透压力。

### 二、仪器设备装置

水电比拟渗流实验设备一套:

- 1、XD I 信号发生器
- 2、晶体管毫伏表
- 3、探针
- 4、有机玻璃的水工建筑物基底模型  
自备厘米方格纸一张（8开以上规格）

### 三、基本原理



渗流和电流现象之间存在着数学上的相似性，渗流流场和电场均可用拉普拉斯方程来描述，所以它们对应的物理量及关系式之间有着相似性，可以互相比拟。如果使电流区域与渗流区域的几何相似、边界条件也相似，则我们可以通过测量电流的物理量来比拟渗流的物理量。在电场中测得电位分布即为渗流区中的水头分布，由实测的等电位（等势线）图，再根据等势线与流线的性质绘制流网。渗流和电流各物理量之间的对应关系如下：

渗流	电流
水头 $H$	电位 $V$
流量 $Q$	电流强度 $I$
渗流流速 $u$	电流密度 $\sigma$
渗流系数 $\kappa$	导电系数 $\lambda$
渗流长度 $L$	导线长度 $L$
水流过水断面面积 $\omega$	导线横断面面积 $\omega$
达西定律 $u = -\kappa \frac{dH}{dL} (Q = -\kappa\omega \frac{dH}{dL})$	欧姆定律 $\sigma = -\lambda \frac{dV}{dL} (I = -\lambda\omega \frac{dV}{dL})$
水头 $H$ 符合拉普拉斯方程 $\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0$	电位 $V$ 符合拉普拉斯方程 $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$
不透水边界上 $\frac{\partial H}{\partial n} = 0$ ( $n$ 为不透水边界法向)	绝缘边界上 $\frac{\partial V}{\partial n} = 0$ ( $n$ 为绝缘边界法向)

渗流是流体在土壤介质孔隙中的运动。在水利工程中是指水在土壤、碎石或岩石层中的运动，即常说的地下水运动。由于土壤粒径大小、形状和分布极为复杂，详细确定是十分困难，甚至是不可能，为了研究流体在土壤中的运动往往进行一定的假设，为此认为流体在土壤介质中，我们只考虑其主要流向，不考虑它的迂回曲折；同时也不考虑土壤颗粒，认为全部是渗流空间——孔隙和土粒所占的空间之和均为渗流所充满。为此我们才能用水电比拟法进行模拟。

#### 四、实验步骤

- 1、利用水平尺，将实验盘调整为水平，盘中注入清水（或盐水）1~2cm深，盘中各处水深均相等。
- 2、用适当的比例将电拟盘中的水工建筑物轮廓绘于方格纸上。
- 3、按图示联接并检查线路后，将信号发生器输出端两头分别接模型的上下游极板，毫伏表的两头分别接探针及下游极板。在指导教师检查无误后，再接通电源。
- 4、将信号发生器的频率放至1KHz处，将毫伏表的量程转到10V的开档处。
- 5、先将探针与下游极板接触，旋转毫伏表的调零旋钮调至0V处，然后再将探针移至上游与极板接触，旋转信号发生器的输出调节旋钮，使毫伏表的指针指向10V处，重复前述步骤，以上下游电位差稳定在10V的量程上为结束标志。
- 6、开始施测，上游电极即10V等电位线不必测记，将探针在电拟盘内垂直流

线方向寻找  $9V$  的若干点（约 5 点以上，从建筑物至盘边均匀分布），并读记这些点坐标，记录并绘于方格纸上，连接这些点的曲线就是  $9V$  的等电位线，亦即  $0.9H$  的等水头线。

7、按(6)的方法，即可画出  $8V$ 、 $7V$ 、…… $1V$  的等电位线簇，即  $0.8H$ 、 $0.7H$ 、…… $0.1H$  的等水头线簇。

8、按流网的性质描绘流线，构成流网图。

### 五、注意事项

1、等势线最好边测边点绘在方格纸上。对每一条等势线测点分布要求合理，在靠近建筑物底板处稍密些，中间点尽量均匀。

2、移动指针不要离开液体。

3、等势线的形状和分布如有不合理现象时，应检查一下电压是否稳定，上下游电位差是否保持在  $10V$ ，实验盘是否水平（若不水平，渗流系数则不能视为常数）。

4、实验前要预习实验指导书，实验时严格按步骤进行。

### 六、记录及计算

#### 1、基底轮廓拐点坐标

序次 坐标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X													
Y													

#### 2、等电位线点的坐标

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
电位差								
9V								
8V								
7V								
6V								
5V								
4V								
3V								
2V								
1V								

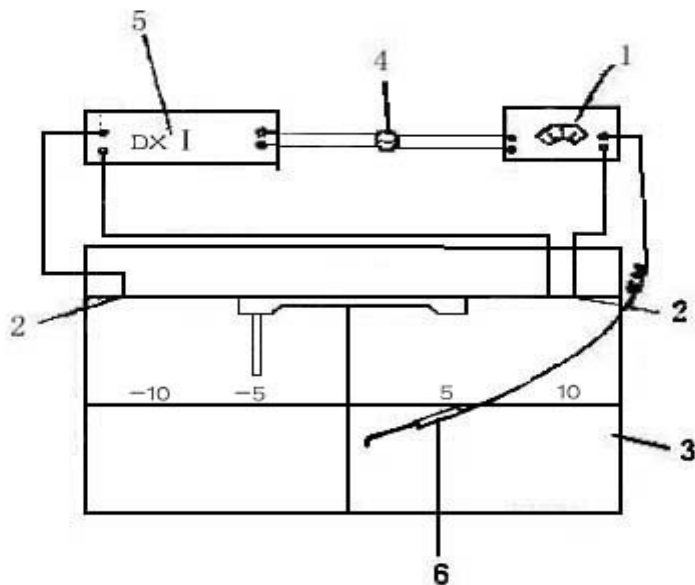
记录：\_\_\_\_\_

指导教师（签名）：\_\_\_\_\_

3、绘出流网，（自备方格纸，比例自定）根据流网图，已知  $\kappa=2.0m/昼夜$ ，上游水深  $h_1=30m$ ，下游水深  $h_2=20m$ ，试计算渗流总压力，渗流下游出口处的流速分布，任意二流线间的渗流单宽流量  $\Delta q$ 。

### 七、思考题

- 1、为什么要将实验盘放置水平？
- 2、实验盘的大小对实验结果有无影响？
- 3、盘中的介质改变，流网形状会不会改变？



1、毫伏表      2、铜片      3、有机玻璃实验水槽  
4、交流电源      5、DXI 信号发生器      6、探针

## 拾、明渠非均匀流水面线演示实验

### 一、实验目的

1. 演示在不同底坡情况下原形水槽中非均匀渐变流的几种主要水面曲线及其衔接形式。
2. 观察流态变换时的局部水力现象。

### 二、实验原理

1. 正常水深的计算(负坡和平坡无正常水深)作  $h_0$  与  $K$  的关系曲线(见附图)。

$K$  为流量模数:

$$K = CA\sqrt{R}$$

式中:  $C$ —谢才系数;  $A$ —过水断面面积;  $R$ —水力半径。

由  $K = \frac{Q}{\sqrt{i}}$  可在  $h_0 \sim K$  曲线上查  $h_0$ 。

式中： $Q$ ——通过水槽的流量； $i$ ——槽的底坡。

## 2、临界水深 $h_c$ 的计算

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \quad (\text{矩形渠道})$$

式中： $q$ ——单宽流量； $q = \frac{Q}{b}$ ； $\alpha$ ——动能校正系数。

## 三、实验设备

实验仪器设备为矩形断面，两段铰接，可变底坡的明渠，如图 10-1 所示。

## 四、实验步骤

1. 打开水泵电机开关，由水槽首部充水。
2. 利用自动升降设备及角度指示标尺将水槽调至  $i_1 = i_2 = 0$ 。
3. 在前段水槽中部插入一闸门，当水流流入水槽后即呈现  $H_1$ 、 $H_2$  两种水面线。
4. 将前段水槽调至  $i_1 < 0$ ，后段水槽调至  $i_2 < i_c$ ，闸门位置不变，可得  $A_3$ 、 $M_2$  两种水面线。
5.  $i_1$  不变，将后段调至  $i_2 > i_c$ ，去掉闸门，可得  $A_2$ 、 $S_2$  两种水面线。

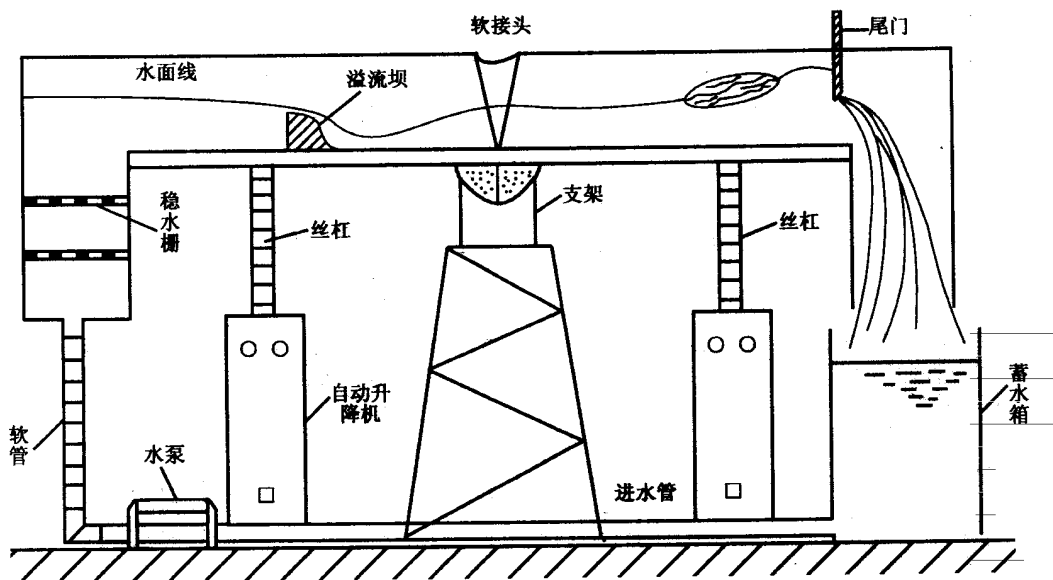


图 10-1 变坡水槽构造图

6. 将两段水槽调至  $i_1 = i_2 < i_c$  在前段水槽中部装一模型堰，后段水槽中插入一闸门，水槽中可出现  $M_1$ 、 $M_2$  型水面线。

7. 使  $i_1 = i_2 > i_c$ ，堰和闸位置不变，水槽中可形成  $S_1$ 、 $S_2$ 型水面曲线。

## 五、注意事项

1. 在用升降机调节槽底坡度时，注意坡度指示器所指明的角度，不能过量，否则易于损坏机械。
2. 水槽及闸门均用有机玻璃制作，在调节闸门开度时，不宜用力过大，以免损伤设备。

## 六、思考题

1. 影响临界水深  $h_c$  的因素有哪些？
2. 根据实测流量、槽宽，应用分段法计算  $M_1$ 型和  $M_2$ 型水面线数据，并与实测值进行比较，分析产生差异的原因。
3. 根据实测流量、槽宽，应用分段法计算  $M_1$ 型  $S_2$ 型水面线数据。并与实测值进行比较，并分析产生差异的原因。

## 七、实验报告

### 1. 实验数据记录

实验日期:

时间:

根据要求自拟数据记录表格。

### 2. 实验结果

- 1) 根据实测数据，画出各种水面曲线及其衔接情况。
- 2) 根据底坡、流量和水槽糙率，判别各槽中应出现的水面线型式，并与实测情况相比较。同时根据上槽、下槽的底坡大小与闸门开度的大小，判别上下游水面线的衔接型式，与实测结果相比较。
- 3) 对上述比较中有不一致的情况，应进行分析并说明影响因素。

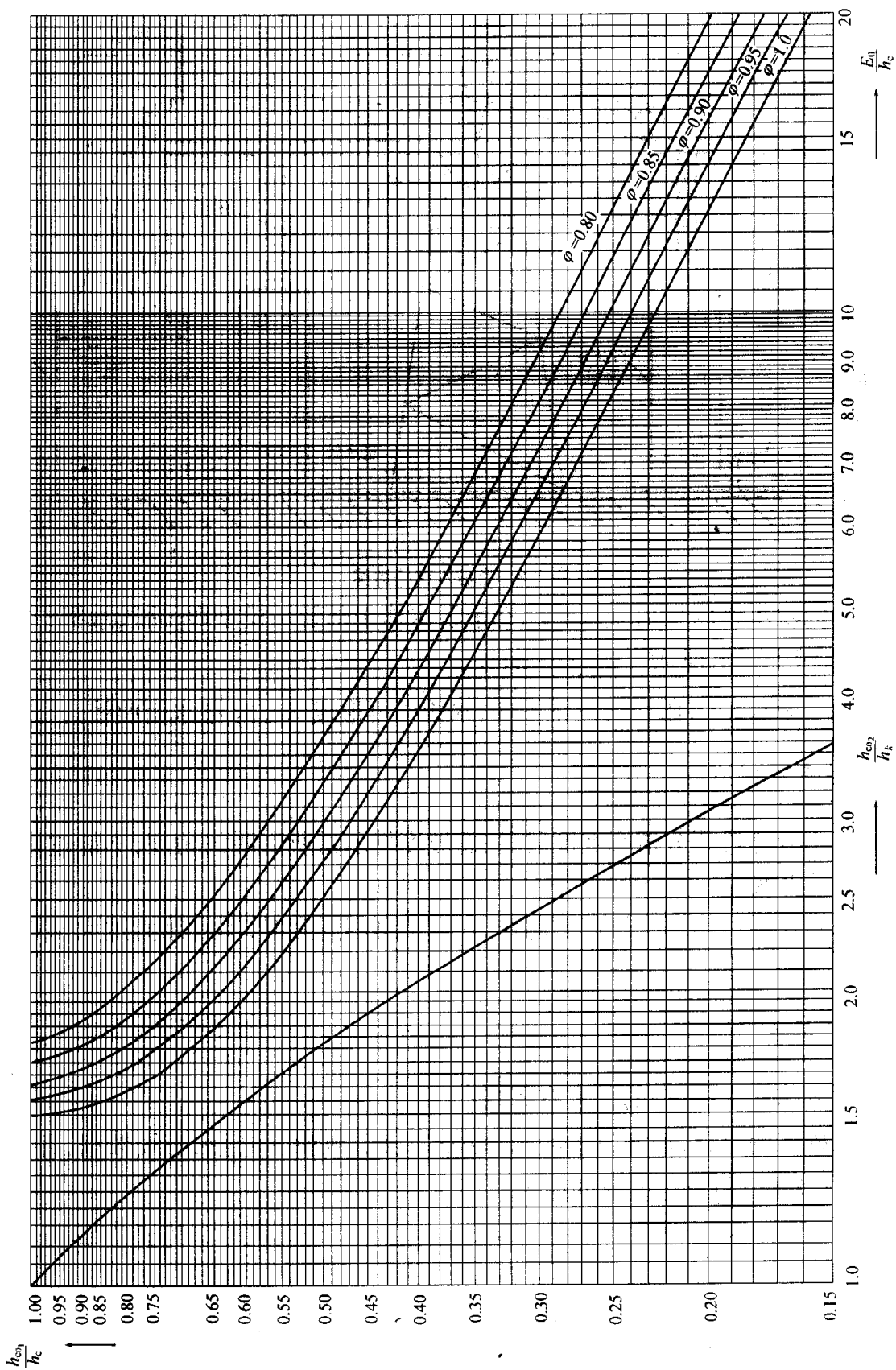


图 1 矩形断面渠道收缩断面水深及水跃共轭水深求解图

## 拾壹、孔口管嘴出流实验

### 一、实验目的

- 1、观察各种典型孔口和管嘴出流时的流动现象与圆柱形管嘴的局部真空现象。
- 2、测定薄壁圆孔出流时的断面收缩系数  $\varepsilon$ 、流速系数  $\varphi$ 、流量系数  $\mu$  及局部阻力系数  $\zeta$ 。
- 3、测定圆柱形外管嘴的真空值。

### 二、实验原理

取通过孔口中心的水平面为基准面，写出 1-1 断面，C-C 断面的能量方程，考虑到水头损失主要为局部损失，可推导出一定水头作用下孔口（管嘴）自由出流时的流量，可用下式表示：

$$V_c = \varphi \sqrt{2gH_0}$$

$$\text{或} \quad Q = \varepsilon \varphi A \sqrt{2gH_0} = \mu A \sqrt{2gH_0}$$

$$H_0 = h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

因  $\frac{v_0^2}{2g}$  很小，可忽略不计。

所以

$$H_0 \approx H$$

式中： $\varepsilon = \frac{A_c}{A}$  ——断面收缩系数； $\mu = \frac{Q}{A\sqrt{2gH}}$  ——流量系数； $\varphi = \frac{\mu}{\varepsilon}$  ——流速系

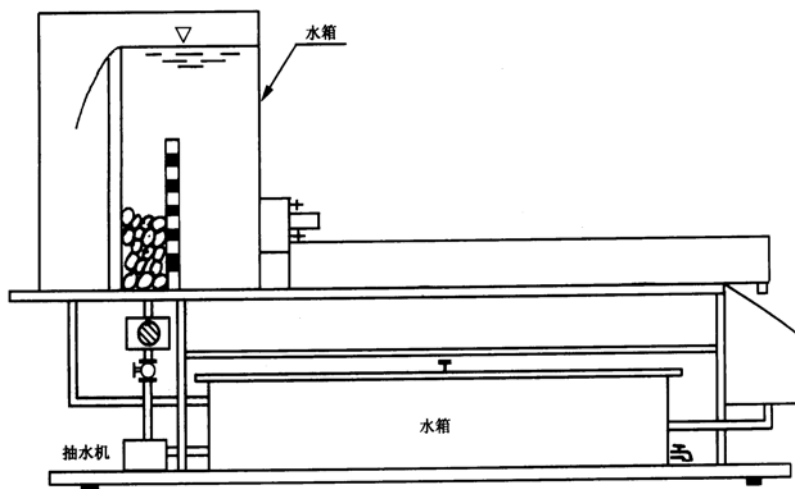
数； $\zeta = \frac{1}{\varphi^2}$  ——局部水头

损失系数。

### 三、实验设备

实验设备及部分名称如图 11-1。

图示是孔口设备图（可更换各种管嘴）。



### 四、实验步骤

- 1、熟悉仪器，记录有关常数。
- 2、启动抽水机，打开进水阀门，使水箱充水，并保持溢流，使水位恒定，读水头  $H$  值。
- 3、放下挡水圆面积板，使水流从孔口（管嘴）流出，用外卡尺测量距孔口  $\frac{1}{2}d$  处的（收缩断面）直径  $d_c$ 。断面面积用  $A_{A_c} = \pi d_c^2 / 4$  计算。
- 4、用体积法测量流量。
- 5、改变溢流板高度，重复上述步骤，可测出不同流量下的数据。
- 6、列表计算  $\varepsilon$ 、 $\mu$ 、 $\varphi$  和  $\zeta$  值。

## 五、注意事项

- 1、实验时必须在水流稳定时方可进行；
- 2、量测收缩断面直径时，要心细，卡尺既不能阻碍水流，也不能与水流脱离；
- 3、爱护实验仪器，更换管嘴时将相应螺孔对准，不得强行挤压，既要保证在实验时不在各接口处漏水，也不能拧得过紧，以免损坏配件；
- 4、实验结束，关闭电源，整理好相关配件。

## 六、思考题

- 1、为什么同样直径与水头条件下，管嘴的流量系数  $\mu$  值比孔口大？
- 2、为什么有的射流成柱状且射程较远，而有的则射流破碎成滴？

## 七、实验报告

- 1、实验目的：

- 2、实验要求：

- 3、计算公式：



4、实验数据及计算数值：（仪器编号：\_\_\_\_\_）

1) 有关常数：

薄壁圆形孔口管径  $d=$ \_\_\_\_\_cm； 圆柱形内管嘴管径  $d=$ \_\_\_\_\_cm；

圆锥形扩散管嘴管径  $d=$ \_\_\_\_\_cm； 圆锥形收缩管嘴管径  $d=$ \_\_\_\_\_cm；

2) 量测记录及计算表格：

类型	测次	孔(管) 直径	孔(管) 面积	水头	量水 体积	量水 时间	收缩断 面直径	压差计读数	
		$d$ (cm)	$A$ ( $\text{cm}^2$ )	$H$ (cm)	$V$ ( $\text{cm}^3$ )	$t$ (s)	$d_c$ (cm)	$\nabla_1$ (cm)	$\nabla_2$ (cm)
圆形孔口	1								
	2								
管嘴 圆柱形	1								
	2								
管嘴 圆锥形扩大	1								
	2								
管嘴 圆锥形收缩	1								
	2								

记录：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

指导教师（签名）：\_\_\_\_\_

3) 计算表格

类型	测次	流量	收缩断面面积	收缩系数	流速系数	流量系数	局部水头损失系数	压差	真空值	
		$Q = \frac{v}{t}$ (cm <sup>3</sup> /s)	A <sub>c</sub> (cm)	$\varepsilon$	$\varphi$	$\mu$	$\xi$	$\Delta h = \nabla_1 - \nabla_2$	$h_{v\text{实测}}$	$h_{v\text{理论}}$
圆形孔口	1									
	2									
管嘴 圆柱形	1									
	2									
管嘴 圆锥形扩大	1									
	2									
管嘴 圆锥形收缩	1									
	2									

4、成果分析及小结

## 拾贰、堰流实验

### 一、实验目的

1. 观察矩形薄壁堰、实用堰和宽顶堰上的水流现象，并观察下游水位对宽顶堰的淹没出流影响。
2. 测定非淹没情况下堰流流量系数  $m$  值，并与公认值进行比较。

### 二、实验原理

根据理论分析可知堰的泄流量  $Q$  与堰上总水头  $H_0^{3/2}$  之间成一定比例：

$$Q = \sigma \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

式中： $\sigma$ —淹没系数； $\varepsilon$ —侧收缩系数； $m$ —流量系数； $B$ —堰净宽度； $H_0$ —堰上总水头； $Q$ —过堰流量。

无侧收缩，自由出流时， $\sigma=1$ ， $\varepsilon=1$ ，从而得出无侧收缩、自由出流时流量系数  $m$  的计算公式：

$$m = \frac{Q}{B \sqrt{2g} H_0^{3/2}}$$

其中

$$H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

式中： $H$ —堰上水头； $v_0$ —上游行近流速。对于薄壁堰，为了方便把计算公式写成：

$$Q = m_0 B \sqrt{2g} H^{3/2}$$

将上游行近流速影响包括在  $m_0$  之中。

### 三、实验设备

实验设备如图 12—1。

在水槽中分别装有宽顶堰、矩形薄壁堰，实用堰 (WES 型和克—奥型)。

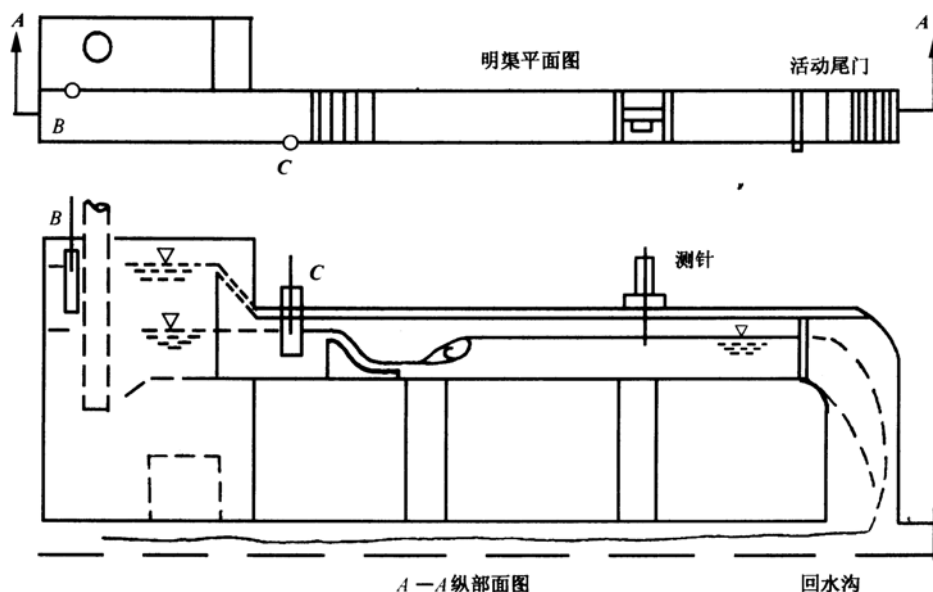


图 12-1 堰流实验示意图

#### 四、实验步骤

1. 开启进水闸门，待稳定后，用三角堰测量流量  $Q$ 。
2. 通过尾水闸门调节下游水深，使堰流为自由出流，注意观察堰顶及上下游水流情况。等水流稳定后，测出所测堰的堰顶水面测针读数，从而测得所测堰的堰上水头。
3. 通过进水闸门，将流量由大至小改变 3 次，重复上述步骤。

#### 五、注意事项

1. 调节下游尾水闸门，切勿完全关闭，以免水槽中水流漫溢。
2. 量测堰上游水位时，应在距离堰的前沿约  $(3 \sim 5)H$  处施测，可免除溢流水面自由降落的影响。

#### 六、思考题

1. 宽顶堰自由出流的特点是什么？淹没宽顶堰流的特征如何？对泄流能力有何影响？
2. 为什么流量系数的实验值一般要比经验公式值（或公认值）小？有哪些因素影响流量系数实验的量测精度？

#### 七、实验报告

1. 实验目的：

2、实验要求:

3、计算公式:

4、实验数据及计算数值: (仪器编号: \_\_\_\_\_)

1) 有关常数:

堰宽  $B=$  \_\_\_\_\_ cm; 堰高  $P=$  \_\_\_\_\_ cm;

三角堰堰口测针读数  $\nabla_{01}=$  \_\_\_\_\_ cm; 所测堰堰顶测针读数  $\nabla_{02}=$  \_\_\_\_\_ cm;

宽顶堰堰宽度  $\delta =$  \_\_\_\_\_ cm; 实用堰设计水头  $H_0=$  \_\_\_\_\_ cm。

2) 量测记录及计算表格:

项目 数值 次	三角堰 水面测 针读数	三角堰 堰上 水头	流量	所测堰 水面测 针读数	所测堰 堰上 水头	行近流 速水头	堰上 总水头	流量 系数
	$\nabla_1$	H	Q	$\nabla_2$	H	$\frac{v_0^2}{2g}$	$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$	m
	cm	cm	l/s	cm	cm	cm	cm	
1								
2								
3								

记录:

指导教师 (签名): \_\_\_\_\_

5、成果分析及小结

参考文献:

赵振兴 何建京 水力学实验 南京 河海大学出版社 2001. 5.