

# 流体流动阻力测定

---

## 实验指导书

---

---

# 流体流动阻力的测定

## 一、实验目的

1. 掌握测定流体流经直管、管件和阀门时阻力损失的一般实验方法。
2. 测定直管摩擦系数 $\lambda$ 与雷诺准数  $Re$  的关系, 验证在一般湍流区内 $\lambda$ 与  $Re$  的关系曲线, 测定流体流经阀门时的局部阻力系数 $\xi$ 。
4. 学会倒 U 形压差计的使用方法, 识辨组成管路的各种管件、阀门, 并了解其作用。

## 二、基本原理

流体通过由直管、管件（如三通和弯头等）和阀门等组成的管路系统时，由于粘性剪应力和涡流应力的存在，要损失一定的机械能。流体流经直管时所造成机械能损失称为直管阻力损失。流体通过管件、阀门时因流体运动方向和速度大小改变所引起的机械能损失称为局部阻力损失。

### 1. 直管阻力摩擦系数 $\lambda$ 的测定

流体在水平等径直管中稳定流动时，阻力损失为：

$$h_f = \frac{\Delta p_f}{\rho} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad (1)$$

即，

$$\lambda = \frac{2 d \Delta p_f}{\rho l u^2} \quad (2)$$

式中： $\lambda$ —直管阻力摩擦系数，无因次；

$d$ —直管内径，m；

$\Delta p_f$ —流体流经  $l$  米直管的压力降，Pa；

$h_f$ —单位质量流体流经  $l$  米直管的机械能损失，J/kg；

$\rho$ —流体密度，kg/m<sup>3</sup>；

$l$ —直管长度，m；

$u$ —流体在管内流动的平均流速，m/s。

滞流(层流)时，

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

$$Re = \frac{du \rho}{\mu} \quad (4)$$

式中：Re—雷诺准数，无因次；

$\mu$ —流体粘度，kg/(m·s)。

湍流时 $\lambda$ 是雷诺准数 Re 和相对粗糙度 ( $\varepsilon/d$ ) 的函数，须由实验确定。

由式 (2) 可知，欲测定 $\lambda$ ，需确定  $l$ 、 $d$ ，测定  $\Delta p_f$ 、 $u$ 、 $\rho$ 、 $\mu$  等参数。 $l$ 、 $d$  为装置参数（装置参数表格中给出）， $\rho$ 、 $\mu$  通过测定流体温度，再查有关手册而得， $u$  通过测定流体流量，再由管径计算得到。

例如本装置采用转子流量计测流量  $V$  (m<sup>3</sup>/h)，且已经校核，则

$$u = \frac{V}{900\pi d^2} \quad (5)$$

$\Delta p_f$  可用 U 型管、倒置 U 型管、测压直管等液柱压差计测定，或采用差压变送器和二次仪表显示。

(1) 当采用倒置 U 型管液柱压差计时

$$\Delta p_f = \rho g R \quad (6)$$

式中：R—水柱高度，m。

(2) 当采用 U 型管液柱压差计时

$$\Delta p_f = (\rho_0 - \rho) g R \quad (7)$$

式中：R—液柱高度，m；

$\rho_0$ —指示液密度，kg/m<sup>3</sup>。

根据实验装置结构参数  $l$ 、 $d$ ，指示液密度  $\rho_0$ ，流体温度  $t_0$  (查流体物性  $\rho$ 、 $\mu$ )，及实验时测定的流量  $V$ 、液柱压差计的读数  $R$ ，通过式(5)、(6)或(7)、(4)和式(2)求取 Re 和  $\lambda$ ，再将 Re 和  $\lambda$  标绘在双对数坐标图上。

## 2. 局部阻力系数 $\xi$ 的测定

局部阻力损失通常有两种表示方法，即当量长度法和阻力系数法。

(1) 当量长度法

流体流过某管件或阀门时造成的机械能损失看作与某一长度为  $l_e$  的同直径的管道所产生的机械能损失相当，此折合的管道长度称为当量长度，用符号  $l_e$  表示。这样，就可以用直管阻力的公式来计算局部阻力损失，而且在管路计算时可将管路中的直管长度与管件、阀门的当量长度合并在一起计算，则流体在管路中流动时的总机械能损失  $\sum h_f$  为：

$$\sum h_f = \lambda \frac{l + \sum l_e}{d} \frac{u^2}{2} \quad (8)$$

## (2) 阻力系数法

流体通过某一管件或阀门时的机械能损失表示为流体在小管径内流动时平均动能的某一倍数，局部阻力的这种计算方法，称为阻力系数法。即：

$$h'_f = \frac{\Delta p'_f}{\rho g} = \xi \frac{u^2}{2} \quad (9)$$

故

$$\xi = \frac{2\Delta p'_f}{\rho g u^2} \quad (10)$$

式中： $\xi$ —局部阻力系数，无因次；

$\Delta p'_f$ —局部阻力压强降，Pa；（本装置中，所测得的压降应扣除两测压口间直管段的压降，直管段的压降由直管阻力实验结果求取。）

$\rho$ —流体密度，kg/m<sup>3</sup>；

$g$ —重力加速度，9.81m/s<sup>2</sup>；

$u$ —流体在小截面管中的平均流速，m/s。

待测的管件和阀门由现场指定。本实验采用阻力系数法表示管件或阀门的局部阻力损失。

根据连接管件或阀门两端管径中小管的直径  $d$ ，指示液密度  $\rho_0$ ，流体温度  $t_0$ （查流体物性  $\rho$ 、 $\mu$ ），及实验时测定的流量  $V$ 、液柱压差计的读数  $R$ ，通过式(5)、(6)或(7)、(10)求取管件或阀门的局部阻力系数  $\xi$ 。

## 三、实验装置与流程

### 1. 实验装置

实验装置如图 1 所示：

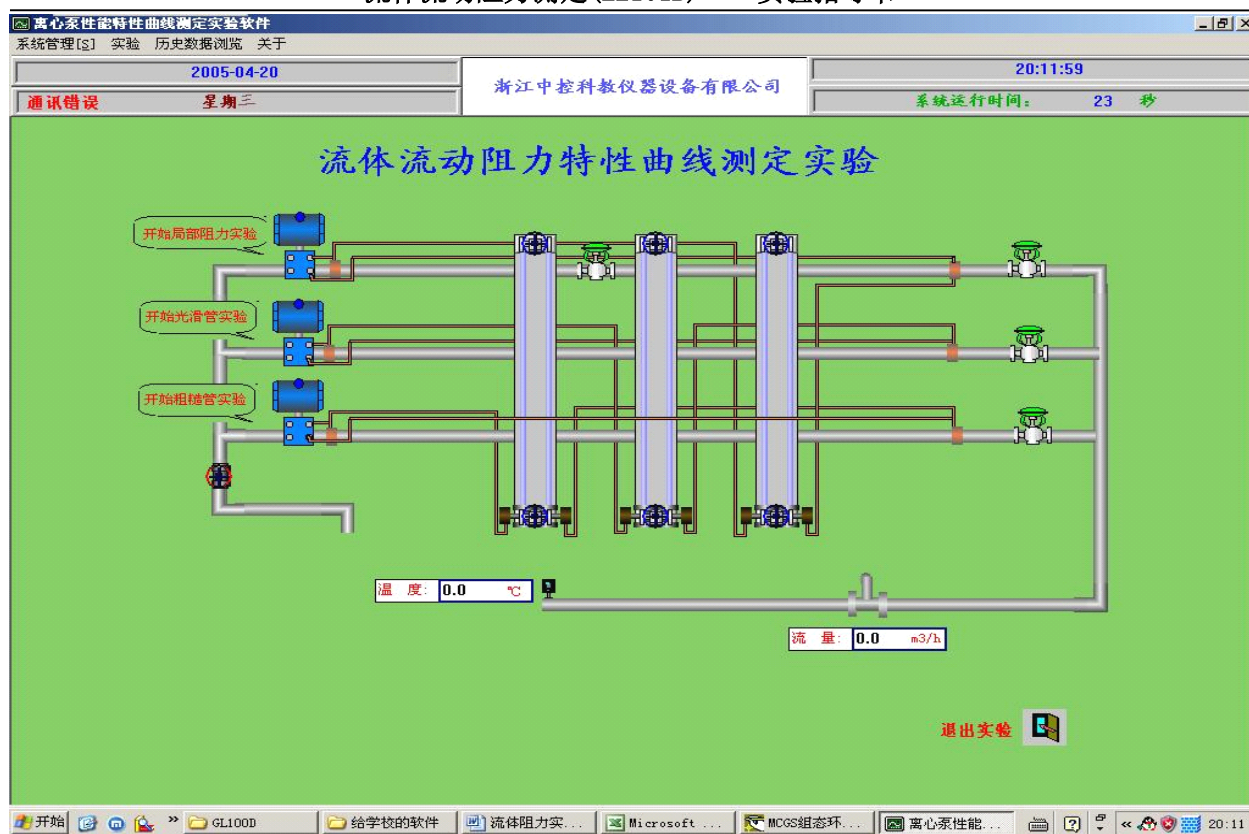


图 1 实验装置流程图(数字型)

## 2. 实验流程

实验对象部分是由贮水箱，离心泵，不同管径、材质的水管，各种阀门、管件，转子流量计和倒 U 型压差计等所组成的。管路部分有三段并联的长直管，测定局部阻力部分使用不锈钢管，其上装有待测管件(闸阀)，光滑管直管阻力的测定同样使用内壁光滑的不锈钢管，而粗糙管直管阻力的测定对象为管道内壁较粗糙的镀锌管。

水的流量使用转子流量计测量，管路和管件的阻力采用各自的倒 U 形压差计测量，流体温度由金属温度计测量。

## 3. 装置参数

装置参数如表 1 所示。

表 1

名称	材质	管内径 (mm)		测量段长度 (cm)
		管路号	管内径	
局部阻力	闸阀	1A	20.9	100
光滑管	不锈钢管	1B	20.9	100
粗糙管	镀锌铁管	1C	21.1	100

## 四、实验步骤

1. **泵启动:** 首先对水箱进行灌水, 然后关闭出口阀, 打开总电源和仪表开关, 启动水泵, 待电机转动平稳后, 把出口阀缓缓开到最大。
2. **实验管路选择:** 选择实验管路, 把对应的进口阀打开, 并在出口阀最大开度下, 保持全流量流动 5—10min。
3. **引压:** 打开对应测量段的均压环引压阀, 使高低压与倒 U 型压差计的左右进压阀连通。(切记须将其他管段的均压环引压阀关闭, 以防压差相互干扰)。
4. **排气:** 对倒 U 型压差计进行排气和调零, 使压差计两端在带压且零流量时的液位高度相等。
5. **流量调节:** 先缓缓开启管路出口阀, 调节流量, 让流量从 1 到 3.8m<sup>3</sup>/h 范围内变化, 建议每次实验变化 0.4m<sup>3</sup>/h 左右。每次改变流量, 待流动达到稳定后, 分别记下压差计左右两管的液位高度, 两高度相减的绝对值即为该流量下的差压。对于层流管, 则须在泵的回流阀打开状态下, 保持层流管的出口针形阀全开, 调节转子流量计前闸阀开度调节流量, 流量测量方式为秒表+量筒。
6. **计算:** 装置确定时, 根据  $\Delta P$  和  $u$  的实验测定值, 可计算  $\lambda$  和  $\xi$ , 在等温条件下, 雷诺数  $Re = du\rho/\mu = Au$ , 其中 A 为常数, 因此只要调节管路流量, 即可得到一系列  $\lambda \sim Re$  的实验点, 从而绘出  $\lambda \sim Re$  曲线。
7. **实验结束:** 关闭出口阀, 关闭水泵和仪表电源, 清理装置。

附: 倒 U 型压差计的使用

这种压差计内充空气, 以待测液体为指示液, 一般用于测量液体小压差的场合。其结构如图 2 所示。

使用的具体步骤是:

- a) 排出系统和导压管内的气泡。排气前, 先开启泵, 关闭管路总出口阀, 使系统处于零流量、高扬程状态。关闭进气阀门(3)和出水活栓(5)以及平衡阀门(4)。打开高压侧阀门(2)和低压侧阀门(1)使实验系统的水经过系统管路、导压管、高压侧阀门(2)、倒 U 形管、低压侧阀门(1)排出系统。
- b) 玻璃管吸入空气。排净气泡后, 关闭(1)和(2)两个阀门, 打开平衡阀(4)和出水活栓(5)进气阀(3), 使玻璃管内的水排净并吸入空气。

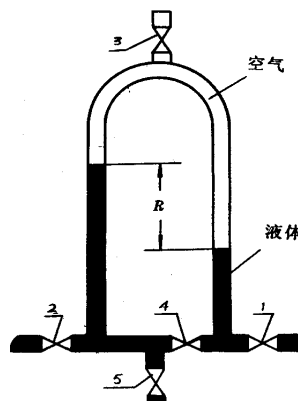


图 2 倒 U 型管压差计  
1—低压侧阀门; 2—高压侧阀门;  
3—进气阀门; 4—平衡阀门;  
5—出水活栓

- c) 平衡水位。关闭阀(4)、(5)、(3)，然后打开(1)和(2)两个阀门，让水进入玻璃管至平衡水位(此时系统中的出水阀门始终是关闭的，管路中的水在零流量时，U形管内水位是平衡的。)压差计即处于待用状态。
- d) 调节管路总出口阀，则被测对象在不同流量下对应的差压，就反应为倒U型管压差计的左右水柱之差。

## 五、实验数据处理

根据上述实验测得的数据填写到下表：

实验日期：\_\_\_\_\_ 实验人员：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 温度：\_\_\_\_\_ 装置号：\_\_\_\_\_

直管基本参数： 光滑管径\_\_\_\_\_ 粗糙管径\_\_\_\_\_ 局部阻力管径\_\_\_\_\_

序号	流量 (m <sup>3</sup> /h)	光滑管 mmH <sub>2</sub> O			粗糙管 mmH <sub>2</sub> O			局部阻力 mmH <sub>2</sub> O		
		左	右	压差	左	右	压差	左	右	压差

## 六、实验报告

1. 根据粗糙管实验结果，在双对数坐标纸上标绘出 $\lambda \sim Re$ 曲线，对照化工原理教材上有关曲线图，即可估算出该管的相对粗糙度和绝对粗糙度。
2. 根据光滑管实验结果，对照柏拉修斯方程，计算其误差。
3. 根据局部阻力实验结果，求出闸阀全开时的平均 $\xi$ 值。
4. 对实验结果进行分析讨论。

## 七、思考题

1. 在对装置做排气工作时，是否一定要关闭流程尾部的出口阀?为什么?
2. 如何检测管路中的空气已经被排除干净?
3. 以水做介质所测得的 $\lambda \sim Re$  关系能否适用于其它流体?如何应用?
4. 在不同设备上(包括不同管径)，不同水温下测定的 $\lambda \sim Re$  数据能否关联在同一条曲线上?
5. 如果测压口、孔边缘有毛刺或安装不垂直，对静压的测量有何影响?