



# 单元操作实验



# 实验一 直管阻力实验



## 一、实验目的:

- 1. 学习直管摩擦阻力与直管摩擦系数 $\lambda$ 的测定方法。
- 2. 掌握直管摩擦系数 $\lambda$ 与雷诺数 $Re$ 和相对粗糙度之间的关系及其变化规律。
- 3. 学习压强差的几种测量方法和提高其测量精确度的一些技巧。



## 二、实验原理:

通过实验测定绘制实验管路内流体流动的直管摩擦系数  $\lambda$  与雷诺数  $Re$  和相对粗糙度之间的关系曲线

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

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

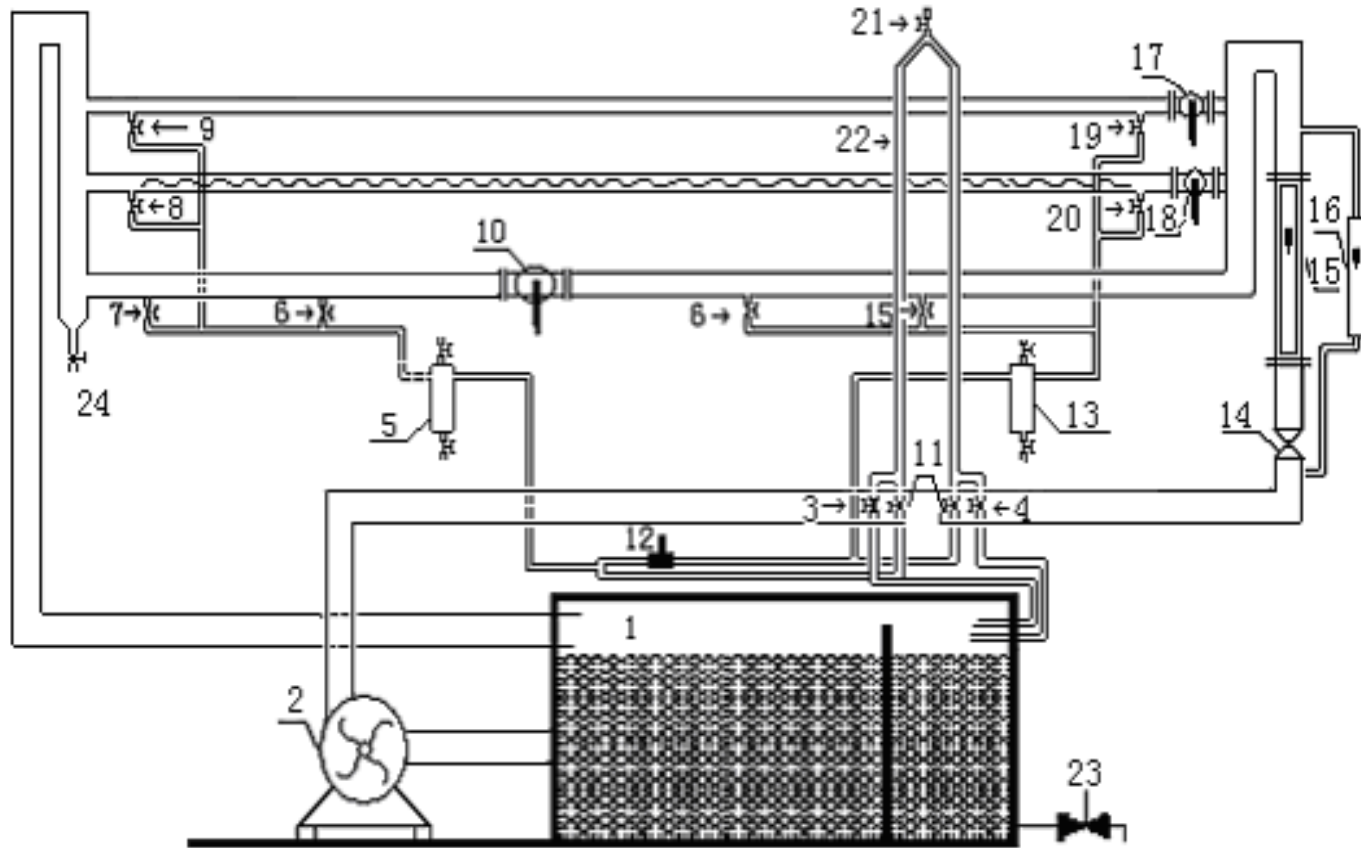
$$Re = \frac{d \cdot u \cdot \rho}{\mu} \quad (1-3)$$



- 在实验装置中，直管段管长  $l$  和管径  $d$  都已固定。若水温一定，则水的密度和黏度也是定值。所以本实验实质上是测定直管段流体阻力引起的压强降与流速（流量  $V$ ）之间的关系。
- 根据实验数据和式（1-2）可计算出不同流速下的直管摩擦系数，用式（1-3）计算对应的  $Re$ ，从而整理出直管摩擦系数和雷诺数的关系，绘出与  $Re$  的关系曲线。



三、  
实验装置





## 四、注意事项:

- 1. 启动离心泵之前以及从光滑管阻力测量过渡到其它测量之前, 都必须检查所有流量调节阀是否关闭。
- 2. 利用压力传感器测量大流量下  $\Delta p$  时, 应切断空气—水倒置 U 型玻璃管的阀门否则将影响测量数值的准确。
- 3. 在实验过程中每调节一个流量之后应待流量和直管压降的数据稳定以后方可记录数据。



## 五、实验数据表：

表一 单相流动阻力实验数据记录表（光滑管）

光滑管内径 8mm，管长 1.80m 液体温度 6.9℃ 液体密度 $\rho=999.69\text{kg/m}^3$ 液体黏度 $\mu=1.41\text{mPa}\cdot\text{s}$							
序号	流量 (l/h)	直管压差 $\Delta p_f$		$\Delta p_f$ (Pa)	流速 $u$ (m/s)	$Re$	$\lambda$
		(kPa)	(mmH <sub>2</sub> O)				





表二 单相流动阻力实验数据记录表（粗糙管）

流体阻力实验数据记录第二套粗糙直管内径 10mm 管长 1.80 液体温度 8.0℃ 液体密度 $\rho = 999.71\text{kg/m}^3$ 液体黏度 $\mu = 1.42\text{mPa}\cdot\text{s}$							
序号	流量 (l/h)	直管压差 $\Delta p_f$		$\Delta p_f$ (Pa)	流速 $u$ (m/s)	$Re$	$\lambda$
		(kPa)	(mmH <sub>2</sub> O)				



# 实验二 离心泵性能测定实验



## 一、实验目的

- 1. 熟悉离心泵的操作方法。
- 2. 掌握离心泵特性曲线和管路特性曲线的测定方法、表示方法，加深对离心泵性能的了解。
- 3. 掌握离心泵管路特性曲线的测定方法、表示方法。



## 二、实验内容

- 1. 练习离心泵的操作。
- 2. 测定某型号离心泵在一定转速下， $H$ （扬程）、 $N$ （轴功率）、 $\eta$ （效率）与 $Q$ （流量）之间的特性曲线。
- 3. 测定流量调节阀某一开度下管路特性曲线。



## 三、实验原理

### (一) 离心泵特性曲线

离心泵是最常见的液体输送设备。在一定的型号和转速下，离心泵的扬程 $H$ 、轴功率及 $N$ 效率 $\eta$ 均随流量 $Q$ 而改变。通常通过实验测出 $H—Q$ 、 $N—Q$ 及 $\eta—Q$ 关系，并用曲线表示之，称为特性曲线。特性曲线是确定泵的适宜操作条件和选用泵的重要依据。



# 1. H的测定:

- 在泵的吸入口和压出口之间列柏努利方程

$$Z_{\lambda} + \frac{P_{\lambda}}{\rho g} + \frac{u_{\lambda}^2}{2g} + H = Z_{\text{出}} + \frac{P_{\text{出}}}{\rho g} + \frac{u_{\text{出}}^2}{2g} + H_{f\lambda-\text{出}}$$

$$H = (Z_{\text{出}} - Z_{\lambda}) + \frac{P_{\text{出}} - P_{\lambda}}{\rho g} + \frac{u_{\text{出}}^2 - u_{\lambda}^2}{2g} + H_{f\lambda-\text{出}}$$



- 上式中  $H_{f\lambda\text{-出}}$  是泵的吸入口和压出口之间管路内的流体流动阻力(不包括泵体内部的流动阻力所引起的压头损失), 当所选的两截面很接近泵体时, 与柏努利方程中其它项比较, 值很小, 故可忽略。于是上式变为:

$$H=(Z_{\text{出}}-Z_{\text{入}})+\frac{P_{\text{出}}-P_{\text{入}}}{\rho g}+\frac{u_{\text{出}}^2-u_{\text{入}}^2}{2g}$$



将测得的  $z_{出}-z_{入}$  的值和  $P_{出}-P_{入}$  以及计算所得的  $u_{入}$ ,  $u_{出}$  代入上式即可求得  $H$  的值。

2.  $N$  的测定:

功率表测得的功率为电动机的输入功率。由于泵由电动机直接带动, 传动效率可视为 1.0





所以电动机的输出功率等于泵的轴功率。

即：

泵的轴功率  $N =$  电动机的输出功率， kW

电动机的输出功率 = 电动机的输入功率  $\times$  电动机的效率

泵的轴功率 = 功率表的读数  $\times$  电动机效率， kW。

### 3. $\eta$ 的测定

$$\eta = \frac{N_e}{N}$$



其中 
$$Ne = \frac{HQ \rho g}{1000} = \frac{HQ \rho}{102}$$

式中  $\eta$  — 泵的效率;

$N$  — 泵的轴功率, kw

$Ne$  — 泵的有效功率, kw

$H$  — 泵的压头, m

$Q$  — 泵的流量,  $m^3/s$

$\rho$  — 水的密度,  $kg/m^3$



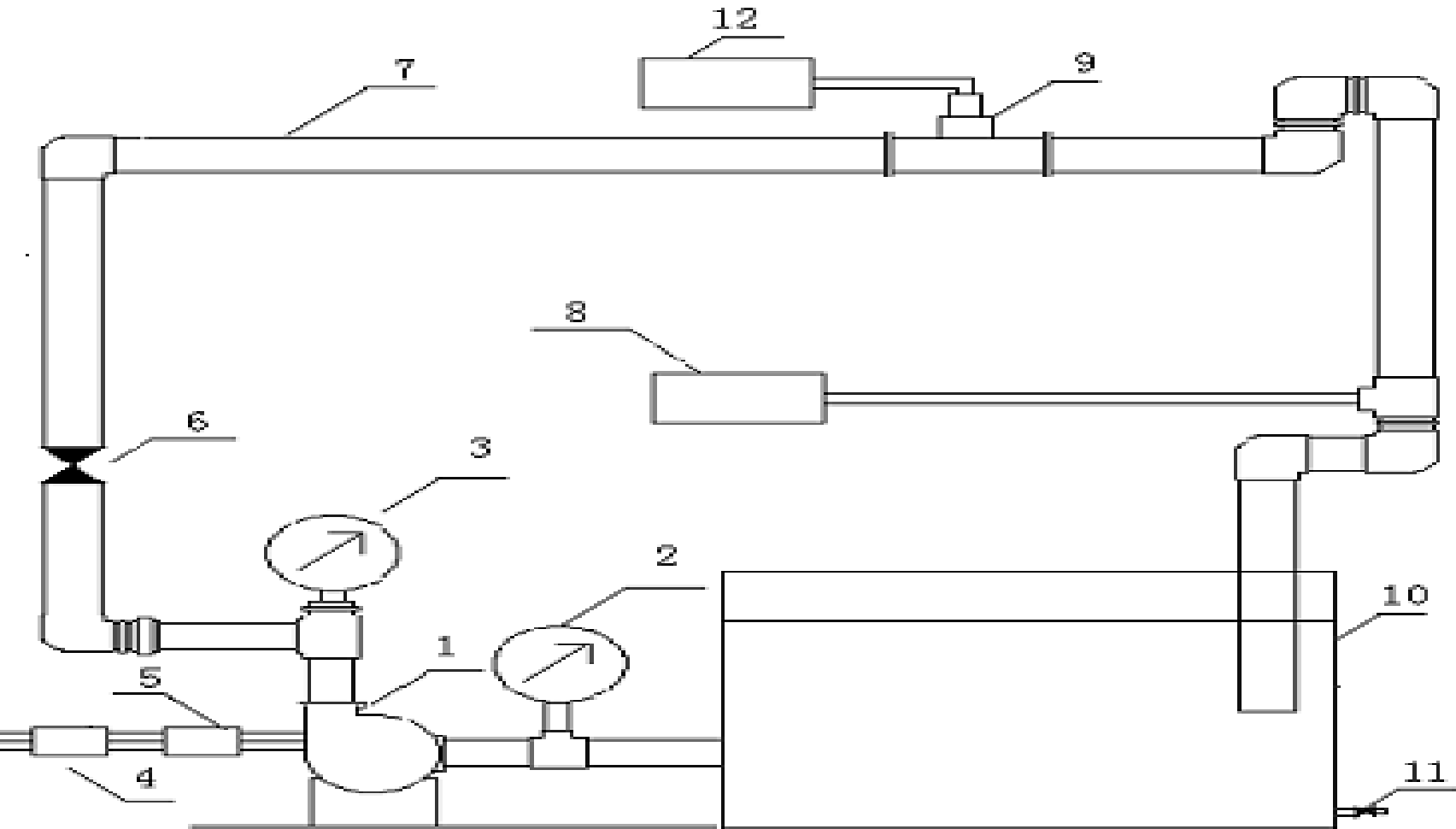
## (二) 管路特性曲线

当离心泵安装在特定的管路系统中工作时，实际的工作压头和流量不仅与离心泵本身的性能有关，还与管路特性有关，也就是说，在液体输送过程中，泵和管路二者是相互制约的。

管路特性曲线是指流体流经管路系统的流量与所需压头之间的关系。若将泵的特性曲线与管路特性曲线绘在同一坐标图上，两曲线交点即为泵在该管路的工作点。因此，如同通过改变阀门开度来改变管路特性曲线，求出泵的特性曲线一样，可通过改变泵转速来改变泵的特性曲线，从而得出管路特性曲线。泵的压头 $H$ 计算同上。



# 四、实验装置





## 流程图上每个数字标注的设备名称

- 1 离心泵 ;
- 2 进口真空表 ;
- 3 出口压力表 ;
- 4 电子变频器 ;
- 5 功率表 ;
- 6 流量调节阀 ;
- 7 实验管路 ;
- 8 温度计 ;
- 9 涡轮流量计 ;
- 10 实验水箱 ;
- 11 放水阀 ;
- 12 频率计 ;



## 五、实验方法

- 1. 向储水槽10内注入蒸馏水。
- 2. 检查流量调节阀6，压力表3及真空表2的开关是否关闭（应关闭）。
- 3. 启动实验装置总电源，用变频调速器上 $\wedge$ 、 $\vee$ 及 $\lt$ 键设定频率后，按run键启动离心泵，缓慢打开调节阀6至全开。待系统内流体稳定，打开压力表和真空表的开关，方可测取数据。
- 4. 用阀6调节流量，从流量为零至最大或流量从最大到零，测取 10~15组数据，同时记录流量计读数、泵入口真空度、泵出口压强、功率表读数，并记录水温。



- 5. 测量管路特性曲线测定时，先置流量调节阀6为某一开度，调节离心泵电机频率（调节范围50—20Hz），测取10~15组数据，同时记录电机频率、泵入口真空度、泵出口压强、流量计读数，并记录水温。
- 6. 实验结束后，关闭流量调节阀，停泵，切断电源。



## 六、注意事项

- 1. 该装置电路采用五线三相制配电，实验设备应良好地接地。
- 2. 使用变频调速器时一定要注意FWD指示灯亮，切忌按FWD REV键REV指示灯亮，电机反转。
- 3. 启动离心泵前，必须关闭流量调节阀，关闭压力表和真空表的开关，以免损坏压强表。





## 七、数据表

表1 离心泵特性曲线测定数据

装置编号:		离心泵型号:		电机效率:				
两测压口之间垂直距离:		涡轮流量计的仪表常数:						
电机频率:		水温:		水密度:				
序号	涡轮流量计频率(Hz)	入口真空表读数 (MPa)	出口压强表读数 (MPa)	功率表读数 (kw)	流量Q (m <sup>3</sup> /h)	压头H (m)	泵轴功率N (w)	$\eta$ (%)
1								
2								
3								
4								
1 2								



表2 离心泵管路特性曲线

序号	电机频率 (H Z)	涡轮流量 计频率 (Hz)	入口真空 表读数 (MPa)	出口压强 表读数 (MPa)	流量Q (m <sup>3</sup> /h)	压头H (m)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
1 2						



# 实验三 传热综合实验



## 一、实验目的

1. 通过对空气—水蒸气简单套管换热器的实验研究，掌握对流传热系数的测定方法，并应用线性回归分析方法，确定关联式  $Nu=ARe^mPr^{0.4}$  中常数A、m的值。
2. 通过对管程内部插有螺旋线圈的空气—水蒸气强化套管换热器的实验研究，测定其准数关联式  $Nu=BRe^m$  中常数B、m的值和强化比  $Nu/Nu_0$ ，了解强化传热的基本理论和基本方式。



## 二、实验原理

### 1 管内对流传热系数 $\alpha_i$ 的测定

管内流体的对流传热系数可以根据牛顿冷却定律，用实验来测定。

$$\alpha_i = \frac{Q}{\Delta t_{mi} \times A_i} \quad (3-1)$$

式中：

$\alpha_i$  —管内流体对流传热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

$Q$  —传热速率， $W$ ；

$A_i$  —管内传热面积， $m^2$ ；

$\Delta t_{mi}$  —内壁面与流体间的温差， $^\circ C$ 。



## 二、实验原理（续）

内壁面与流体间的温差  $\Delta t_{mi}$

内壁面与流体间的温差由下式确定：

$$\Delta t_{mi} = t_w - \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (3-2)$$

式中：

$t_1, t_2$ —空气的入口、出口温度， $^{\circ}\text{C}$ ；  
 $t_w$ —内壁温度， $^{\circ}\text{C}$ ；



## 二、实验原理（续）

管内传热面积  $A_i$

$$A_i = \pi d_i L \quad (3-3)$$

式中： $d_i$ —内管的管内径，m；

$L$ —传热管测量段的实际长度，m。



## 二、实验原理（续）

### 传热速率 $Q$

传热速率由热量衡算方程式：

$$Q = m_{si} c_{pi} (t_2 - t_1) \quad (3-4)$$

其中质量流量由下式求得：

$$m_{si} = \frac{V_s \rho}{3600} \quad (3-5)$$

式中：

$V_s$ —空气在套管内的平均体积流量， $\text{m}^3 / \text{h}$ ；

$c_{pi}$ —空气的定压比热， $\text{kJ} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

$\rho$ —空气的密度， $\text{kg} / \text{m}^3$ 。

$c_{pi}$ 和  $\rho$  可根据定性温度  $t_m$  查得， $t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$  为冷空气的进出口平均温度。

$t_1$ ， $t_2$ ， $T$ ， $V_s$  可采取一定的测量手段得到。





## 二、实验原理（续）

### 2. 对流传热系数准数关联式的实验确定

流体在管内作强制湍流，被加热，因此准数关联式的形式为

$$\text{Nu}_i = A \text{Re}_i^m \text{Pr}_i^n \quad (3-6)$$

其中：

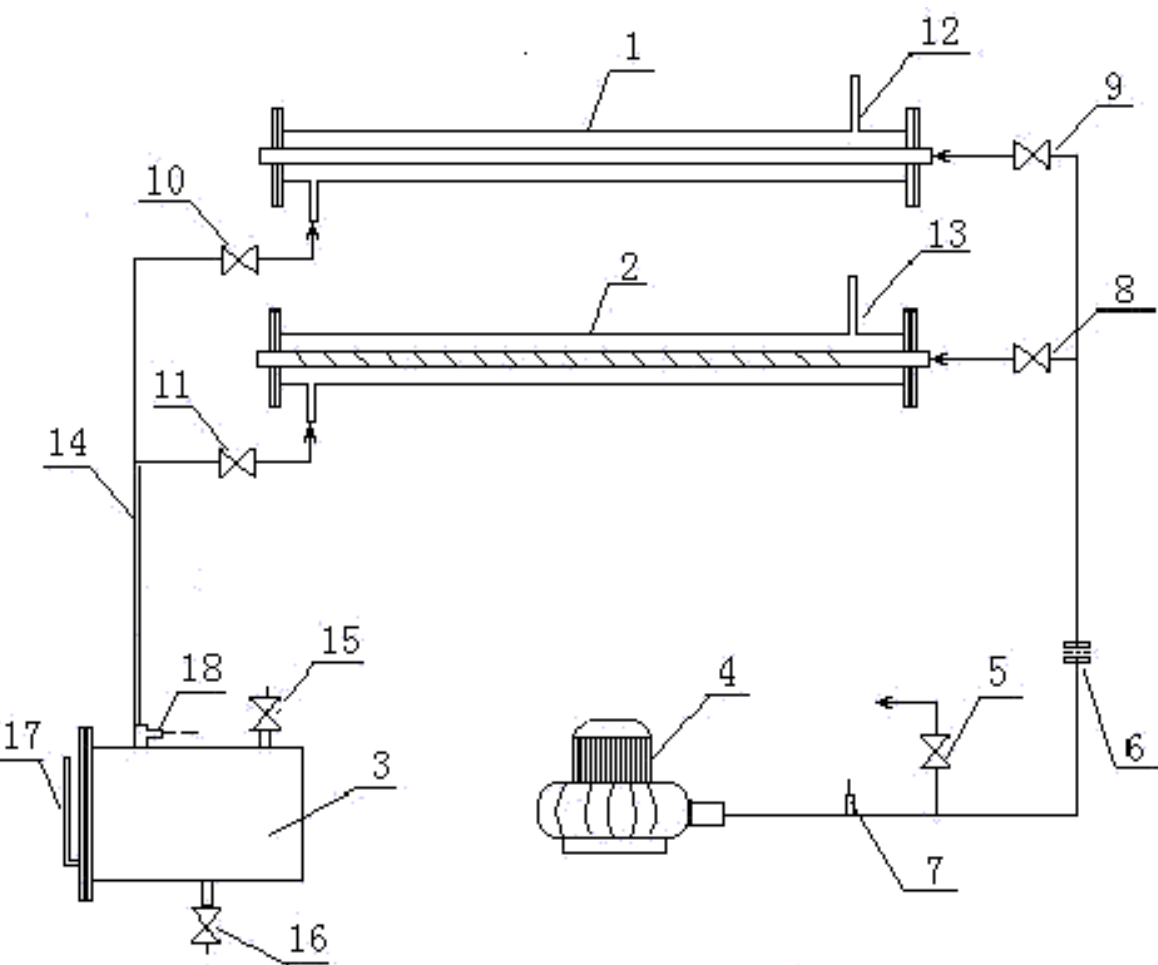
$$\text{Nu}_i = \frac{\alpha_i d_i}{\lambda_i} \quad \text{Re}_i = \frac{u_i d_i \rho_i}{\mu_i} \quad \text{Pr}_i = \frac{c_{pi} \mu_i}{\lambda_i}$$

对于管内被加热的空气，普朗特准数 $\text{Pr}_i$ 变化不大，可以认为是常数，则关联式的形式简化为：

$$\text{Nu}_i = A \text{Re}_i^m \text{Pr}_i^{0.4} \quad (3-7)$$



### 三、实验装置



- 1. 普通套管换热器;
- 2. 内插螺旋线圈的强化套管换热器;
- 3. 蒸汽发生器;
- 4. 旋涡气泵;
- 5. 旁路调节阀;
- 6. 孔板流量计;
- 7. 风机出口温度 (冷流体入口温度) 测试点;
- 8、9空气支路控制阀;
- 10、11、蒸汽支路控制阀;
- 12、13、蒸汽放空口;
- 14、蒸汽上升主管路;
- 15、加水口;
- 16、放水口;
- 17、液位计;
- 18、冷凝液回流口

空气-水蒸气传热综合实验装置流程图



### 三、实验装置（续）

#### 1 传热管参数:

实验内管内径 $d_i$ (mm)		20.00
实验内管外径 $d_o$ (mm)		22.0
实验外管内径 $D_i$ (mm)		50
实验外管外径 $D_o$ (mm)		57.0
测量段（紫铜内管）长度 $l$ (m)		1.20
强化内管内插物 （螺旋线圈）尺寸	丝径 $h$ (mm)	1
	节距 $H$ (mm)	40
加热釜	操作电压	$\leq 200$ 伏
	操作电流	$\leq 10$ 安



## 三、实验装置（续）

### 2 空气流量计

由孔板与压力传感器及数字显示仪表组成空气流量计。空气流量由下述公式计算。

$$V_{t0} = 18.113 \times (\Delta P)^{0.6203}$$

$V_{t0}$  — 空气在20℃时的体积流量，m<sup>3</sup>/h；

$\Delta P$  — 孔板两端压差，KPa



## 三、实验装置（续）

### 3 温度测量

- a 空气入传热管测量段前的温度  $t_1$  (  $^{\circ}\text{C}$  ) 由电阻温度计测量，可由数字显示仪表直接读出。
- b 空气出传热管测量段时的温度  $t_2$  (  $^{\circ}\text{C}$  ) 由电阻温度计测量，可由数字显示仪表直接读出。
- c 管外壁面平均温度  $t_w$  (  $^{\circ}\text{C}$  ) 由数字式温度计直接读出。



### 三、实验装置（续）

#### 4 强化套管换热器实验简介

螺旋线圈的结构如图3-1所示，螺旋线圈由直径3mm以下的铜丝和钢丝按一定节距绕成。将金属螺旋线圈插入并固定在管内，即可构成一种强化传热管。在近壁区域，流体一面由于螺旋线圈的作用而发生旋转，一面还周期性地受到线圈的螺旋金属丝的扰动，因而可以使传热强化。

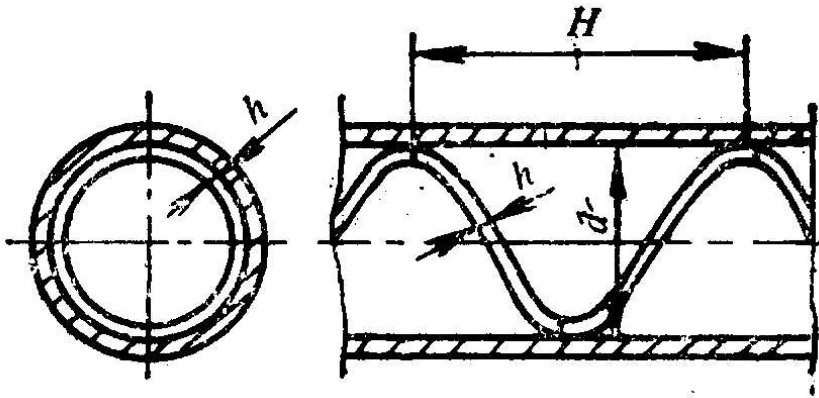


图3-1 螺旋线圈内部结构



## 四、实验步骤

1. 实验前的准备工作：向电加热釜加水至液位计上端红线处，检查空气流量旁路调节阀5是否全开。
2. 接通电源总闸，打开加热电源开关，设定加热电压，开始加热。
3. 关闭通向强化套管的阀门11，打开通向简单套管的阀门10，当简单套管换热器的放空口12有水蒸气冒出时，可启动风机，此时要关闭阀门8，打开阀门9。在整个实验过程中始终保持换热器出口处有水蒸气冒出。
4. 启动风机后用放空阀5来调节流量，调好某一流量后稳定5-10分钟后，分别测量空气的流量，空气进、出口的温度及壁面温度。然后，改变流量测量下组数据。一般从小流量到最大流量之间，要测量5~6组数据。
5. 做完简单套管换热器的数据后，要进行强化管换热器实验。先打开蒸汽支路阀11，全部打开空气旁路阀5，关闭蒸汽支路阀10，关闭空气支路阀9，打开空气支路阀8，进行强化管传热实验。实验方法同步骤4。
6. 实验结束后，依次关闭加热电源、风机和总电源。一切复原。



## 五、注意事项

1. 检查蒸汽加热釜中的水位是否在正常范围内。特别是每个实验结束后，进行下一实验之前，如果发现水位过低，应及时补给水量。
2. 必须保证蒸汽上升管线的畅通。即在给蒸汽加热釜电压之前，两蒸汽支路控制阀之一必须全开。在转换支路时，应先开启需要的支路阀，再关闭另一侧，且开启和关闭控制阀必须缓慢，防止管线截断或蒸汽压力过大突然喷出。
3. 必须保证空气管线的畅通。即在接通风机电源之前，两个空气支路控制阀之一和旁路调节阀必须全开。在转换支路时，应先关闭风机电源，然后开启和关闭控制阀。
4. 电源线的相线，中线不能接错，实验架一定要接地。
5. 数字电压表及温度、压差的数字显示仪表的信号输入端不能"开路"。





# 六、实验记录表

设备装置号:	传热管内径:			传热管有效长度:		
冷流体:	热流体:					
实验 序号	1	2	3	4	5	6
空气流量压差计 读数 $\Delta p$ (kPa)						
空气入口 温度 $t_1$ ( $^{\circ}\text{C}$ )						
空气出口 温度 $t_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )						
壁温 $t_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )						



## 七、实验讨论

1. 由实验结果得出，随着冷流体流速的增加，管内对流传热系数 $\alpha_i$  如何变化？
2. 准数关联式  $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$  使用时要求Re 在什么范围？
3. 对于蒸汽—空气换热系统来说，总传热系数接近哪一侧的对流传热系数？
4. 如果测定总传热系数，需要测定哪些量？

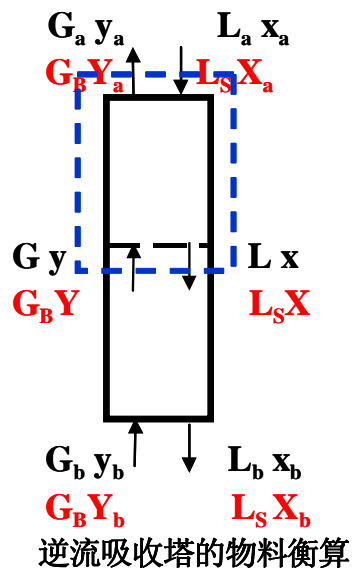


# 实验四 吸收实验



# 一、实验目的

- 1、了解填料吸收塔的结构和流程。
- 2、掌握气相总体积传质系数  $K_y a$  的测量方法。





## 二、实验原理

在低浓范围内，填料层高度的计算公式：

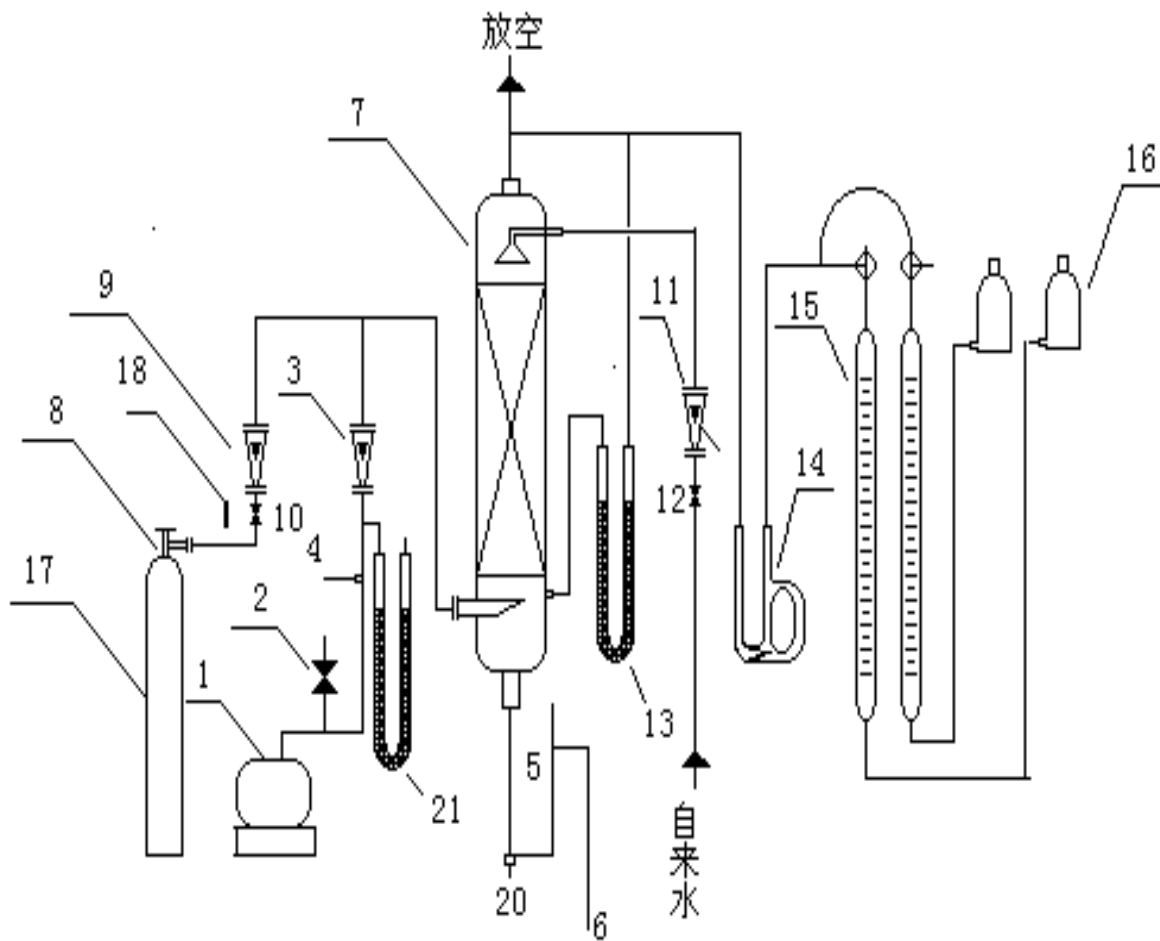
$$h_0 = \frac{G}{K_y a} \cdot \frac{y_b - y_a}{\Delta y_m}$$

$$K_y a = \frac{G}{h_0} \cdot \frac{y_b - y_a}{\Delta y_m} \quad \text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$$

用水吸收氨气，需要测量的参数很多



### 三、实验装置



- 1、鼓风机
- 2、空气流量调节阀
- 3、空气转子流量计
- 4、空气温度
- 5、液封管
- 6、吸收液取样口
- 7、填料吸收塔
- 8、氨瓶阀门
- 9、氨转子流量计
- 10、氨流量调节阀
- 11、水转子流量计
- 12、水流量调节阀
- 13、U型管压差计
- 14、吸收瓶
- 15、量气管
- 16、水准瓶
- 17、氨气瓶
- 18、氨气温度
- 20、吸收液温度
- 21、空气进入流量计处压力



## 四、需测量的参数

- 1、空气体流量的确定——测量，换算
- 2、氨气体流量的确定——测量，换算
- 3、混合气体通过单位塔截面的摩尔流量 $G$ 的确定——计算
- 4、混合气体入塔浓度 $y_b$ 的确定——计算
- 5、相平衡常数 $m$ 的确定——查图
- 6、尾气出塔浓度 $y_a$ 的确定——滴定
- 7、吸收液出塔浓度 $x_b$ 的计算——物料衡算



## 五、设备主要技术数据(供参考)

### 1、鼓风机

XGB型旋涡气泵，型号2，最大压力1176kPa，  
最大流量 $75\text{m}^3 / \text{h}$ ；

### 2、填料塔

玻璃管，内装 $10 \times 10 \times 1.5$ 瓷拉西环，填料层高度0.4 m，  
填料塔内径0.075 m；

3、液氨瓶1个、氨气减压阀1个；





## 五、设备主要技术数据(供参考)

### 4、流量测量

(1) 空气转子流量计: 型号:LZB-25, 流量范围: 2.5—25 m<sup>3</sup>/h  
精度: 2.5%

(2) 水转子流量计: 型号:LZB-6, 流量范围: 6—60 L/h  
精度: 2.5%

(3) 氨转子流量计: 型号 LZB-6, 流量范围: 0.06—0.6m<sup>3</sup>/h  
精度: 2.5%

### 5、浓度测量

塔顶尾气浓度分析: 吸收瓶, 量气管, 水准瓶一套。



## 六、实验方法及步骤

1、选择适宜的空气流量和水流量(建议水流量为30L/h)，根据空气转子流量计读数为保证混合气体中氨组分为0.02-0.03(摩尔比)，计算出氨气流量计流量读数。

2、先调节好空气流量和水流量，打开氨气瓶总阀调节氨流量，使其达到需要值，在空气、氨气和水的流量不变条件下操作。一定时间过程基本稳定后，记录各流量计读数和温度，记录塔底排出液的温度，并分析塔顶尾气的浓度。



## 六、实验方法及步骤

### 3、尾气分析方法

(1) 排出两个量气管内空气，使其中水面达到最上端的刻度线零点处，并关闭三通旋塞；

(2) 用移液管向吸收瓶内装入1 mL浓度为0.015 M左右的硫酸并加入1—2滴刚果红指示液，再加入少量的蒸馏水。



## 六、实验方法及步骤

### 3、尾气分析方法

(3) 将水准瓶移至下方的实验架上，缓慢地旋转三通旋塞，让塔顶尾气通过吸收瓶，旋塞的开度不宜过大，以能使吸收瓶内液体以适宜的速度不断循环流动为限。

中和反应达到终点时立即关闭三通旋塞，在量气管内水面与水准瓶内水面齐平的条件下读取量气管内空气的体积。

若某量气管内已充满空气，但吸收瓶内未达到终点，

可关闭对应的三通旋塞，读取该量气管内的空气体积，同时启用另一个量气管，继续让尾气通过吸收瓶。



## 七、思考与讨论

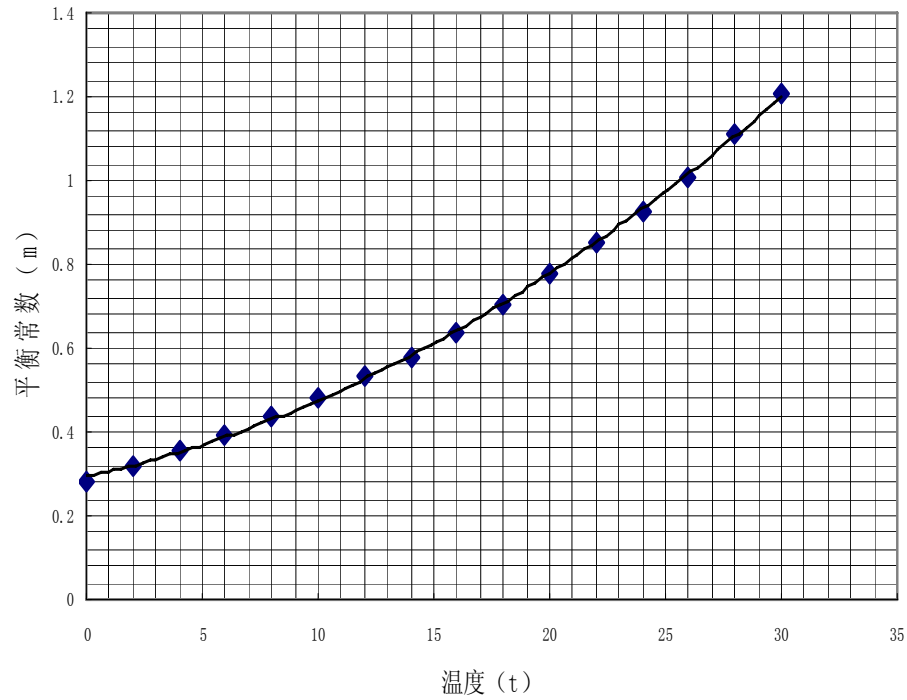
- 1、综合班上各组实验数据进行分析，用水吸收空气的氨气属于气膜控制还是液膜控制？
- 2、填料塔用水吸收空气的氨气，当液体流量和进塔气体的浓度不变时，增大混合气体的流量，此时仍能进行正常操作，则尾气中氨气的浓度将如何变化。



附1:

# 氨气—水系统平衡图

氨气—水系统平衡常数 $m$ —温度 $t$ 之间关系





# 附1:

## 原始数据记录表（供参考）

被吸收的气体混合物: _____ 吸收剂: _____		
填料种类: _____		
填料尺寸: _____ ; 填料层高度: _____ m; 塔内径: _____ mm		
实 验 项 目		
空气流量	空气转子流量计读数 $V_1$	$m^3/h$
	转子流量计处空气温度 $T_1$	$^{\circ}C$
	流量计前空气的表压, _____	mm 水柱
氨气流量	氨转子流量计读数 $V_1'$	$m^3/h$
	转子流量计处氨温度 $T_1'$	$^{\circ}C$
	氨气瓶减压阀处氨气的表压, _____	MPa
水流量	水转子流量计读数 $V_w$	l/h
$y_0$ 的测定	测定用硫酸的浓度 $M_{H_2SO_4}$	mol/ml
	测定用硫酸的体积 $V_{H_2SO_4}$	ml
	量气管内空气的总体积 $V_{空气}$	ml
	量气管内空气的温度 $T_{空气}$	$^{\circ}C$
相平衡常数	塔底吸收液的温度	$^{\circ}C$
	相平衡常数 $m$	



# 实验五 精馏实验





## 一. 实验目的

1. 了解板式塔的基本构造，精馏设备流程及各个部分的作用，观察精馏塔工作时塔板上的水力状况。
2. 在全回流条件下，测定实验所用精馏塔以乙醇-水为分离物系的全塔板效率。



## 二. 实验原理

1. 精馏塔的全塔效率 对于二元物系，如已知其汽液平衡数据，则根据精馏塔的塔顶馏出液组成，塔底釜液组成可以求出该塔的理论板数。按照下式可以得到总板效率 $E_0$

$$E_0 = \frac{N}{N_e} \times 100\%$$

其中 $N_e$ 为实际塔板数。 精馏塔的全塔效率 精馏塔的全塔效率为理论板数 $N$ 与实际塔板数 $N_e$ 之比。



## 二. 实验原理

1. 实验中经查表校正求出的是乙醇-水在20℃时的体积分数，应换算成摩尔分数。换算关系如下：

$$\text{质量分数 } a_{\text{乙醇}} = \frac{\text{乙醇体积分数} \times \rho_{\text{乙醇}}}{(\text{水的体积分数} \times \rho_{\text{水}}) + (\text{乙醇的体积分数} \times \rho_{\text{乙醇}})}$$

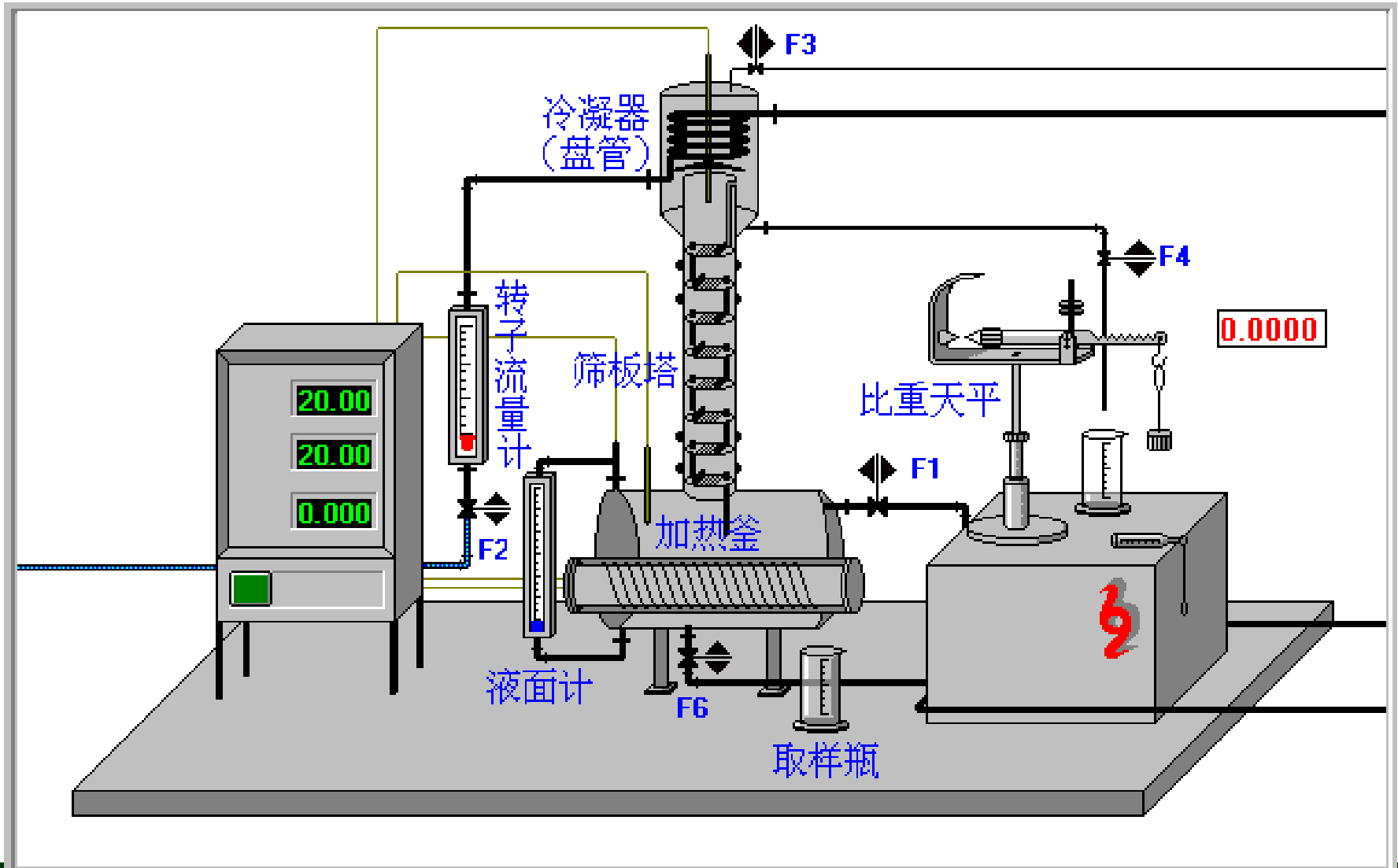
$$\text{摩尔分数 } x_{\text{乙醇}} = \frac{a_{\text{乙醇}} \cdot M_{\text{乙醇}}}{(a_{\text{乙醇}} \cdot M_{\text{乙醇}}) + (a_{\text{水}} \cdot M_{\text{水}})}$$

$$M_{\text{水}} = 18.02 \text{ kg / kmol} \quad M_{\text{乙醇}} = 46.07 \text{ kg / kmol}$$

$$20^\circ\text{C时, } \rho_{\text{水}} = 998.2 \text{ kg/m}^3, \quad \rho_{\text{乙醇}} = 790 \text{ kg/m}^3$$



### 三. 实验装置与流程





板式精馏塔实  
验装置实物图





## 四. 实验方法及步骤

- 在塔釜内加入10%~20%（体积分率）的乙醇-蒸馏水溶液，至塔釜液面计刻度红线为止。注意未加溶液严禁启动加热器，否则会烧毁加热用管式电炉。
- 经检查电加热器正常，即将设备电源接好，将调压器暂时旋至0伏后，顺次开启总电源及加热电源开关，然后调节调压器，将加热电压升至180~220伏，加热釜内溶液。此时要用试电笔检查设备是否漏电，如有漏电现象，应立即停用检修。
- 打开塔顶排空阀，注意在釜液沸腾前必须开启冷却水入口阀门，保证塔顶蒸汽充分冷凝。当塔顶蒸气冷凝液全部回流时，开始实验。
- 上述工作由实验室人员监护完成。
- 调节加热器电源电压，保持冷却水流量稳定，待塔釜、塔顶的温度稳定后，记取釜压力，加热电源电压，电流强度，塔顶塔釜温度，全回流量，冷却水流量等。
- 自塔顶、塔底各取产品100mL左右。注意取样时流速不能过快，防止严重破坏全回流工况，冷却至20°C左右，用酒度计测量液样的酒度，并记录样品温度，根据测得的酒度和温度查取在20°C下的酒精体积含量（酒度）。



## 五. 实验数据处理及报告

1. 在笛卡尔坐标系中标绘乙醇-水的  $x-y$  (摩尔分率) 曲线。  
并在图上标出相应的  $x_D$ ,  $x_W$ , 依全回流条件用作图法求出本实验条件下的全塔理论板数  $N$  (包括塔釜)。
2. 全塔板效率  $E_0$  可按下式求出:

$$E_0 = \frac{N-1}{N_e}$$

$N$ : 作图时求得的理论板数, 减1, 减去塔釜相当于一块理论板。

$N_e$ : 实际板数, 可就地记数。



x	y	x	y
0.00	0.00	0.35	0.595
0.01	0.11	0.40	0.614
0.02	0.175	0.45	0.635
0.04	0.273	0.50	0.657
0.06	0.34	0.55	0.678
0.08	0.392	0.60	0.698
0.10	0.43	0.65	0.725
0.14	0.482	0.70	0.755
0.18	0.513	0.75	0.785
0.20	0.525	0.80	0.82
0.25	0.551	0.85	0.855
0.30	0.575	0.894	0.894

表1 乙醇-水物系  
平衡数据表





# 实验六 干燥实验



## 一、实验目的:

1. 掌握干燥曲线和干燥速率曲线的测定方法。
- 2. 学习物料含水量的测定方法。
- 3. 加深对物料临界含水量 $X_c$ 的概念及其影响因素的理解。



## 二、实验原理:

本实验在恒定干燥条件下对帆布物料进行干燥,测定干燥曲线和干燥速率曲线,掌握干燥速率和临界含水量的测定方法及其影响因素。

### 1. 物料干基含水率的测定

$$X_i = \frac{G_i - G_c}{G_c}$$

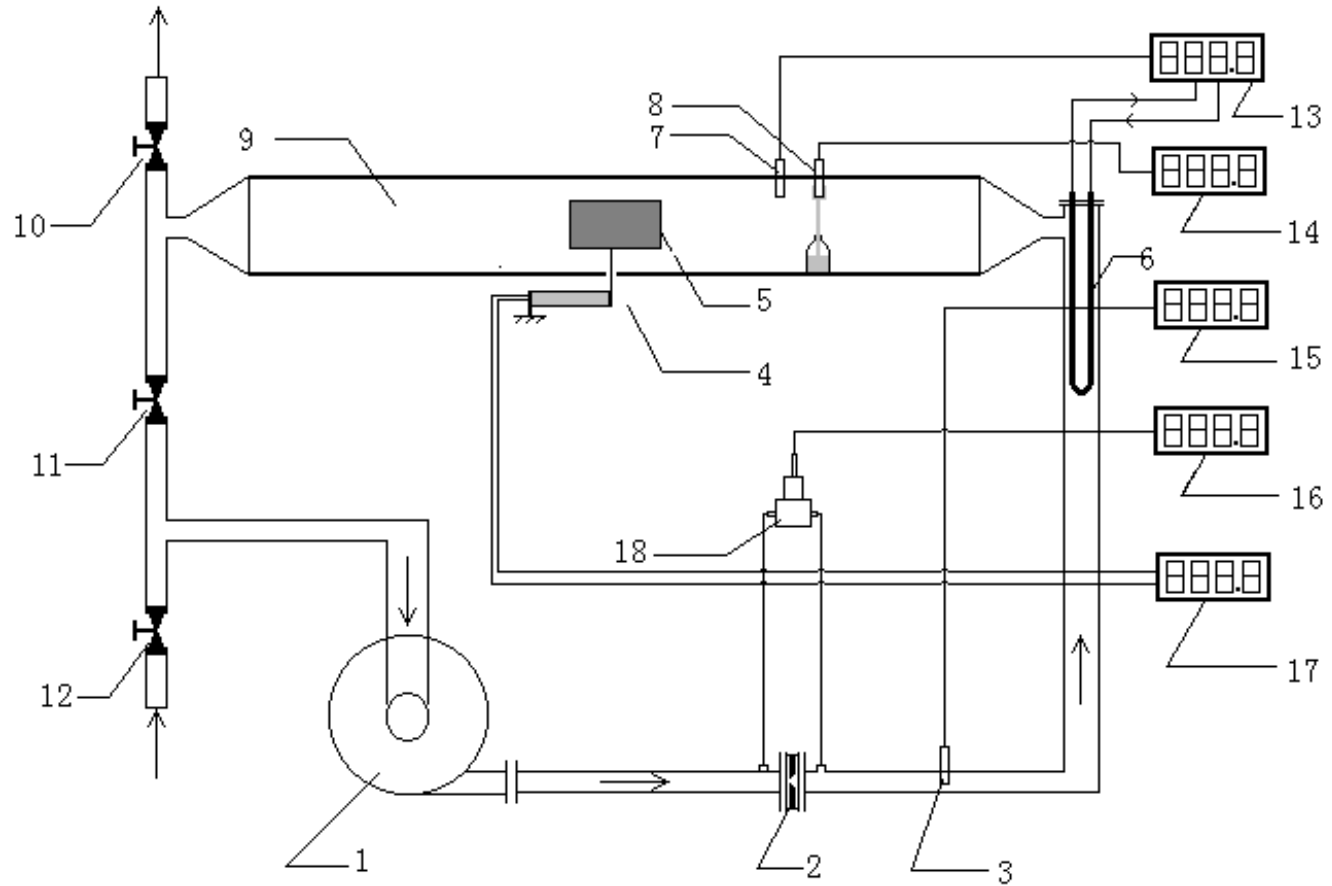


- 2. 干燥速率的测定

$$U = \frac{dW}{Ad\theta} \approx \frac{\Delta W}{A\Delta\theta}$$



三、  
实验装置





## 四、注意事项:

- 1. 重量传感器的量程为 ( $0\sim 200\text{g}$ )，精度较高。在放置干燥物料时务必要轻拿轻放，以免损坏仪表。
- 2. 干燥器内必须有空气流过才能开启加热，防止干烧损坏加热器，出现事故。
- 3. 干燥物料要充分浸湿，但不能有水滴自由滴下，否则将影响实验数据的正确性。



# 五、实验数据表：

表 1 干燥实验装置实验原始及整理数据表

空气孔板流量计读数：      流量计处空气温度：      干球温度：  
 湿球温度：      框架重量：      绝干物料量：  
 干燥面积 A：      洞道截面积：

序号	累计时间 (分)	总重量 $G_T$ (g)	干基含水率 $X$ (kg/kg)	平均含水率 $X_{AV}$ (kg/kg)	干燥速率 $U \times 10^4$ [kg/ (s·m <sup>2</sup> )]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					