

化工原理仿真实验指导书

化工原理教研室

第一章 实验概述

一、实验内容:

化工原理仿真实验有离心泵性能曲线测定、流量计的认识和校验、流体阻力系数测定、换热实验（强制对流传热膜系数测定）、换热实验（流程二）、精馏实验、吸收实验、干燥实验、精馏实验（流程二）、吸收实验（流程二），共七个实验，十个流程。

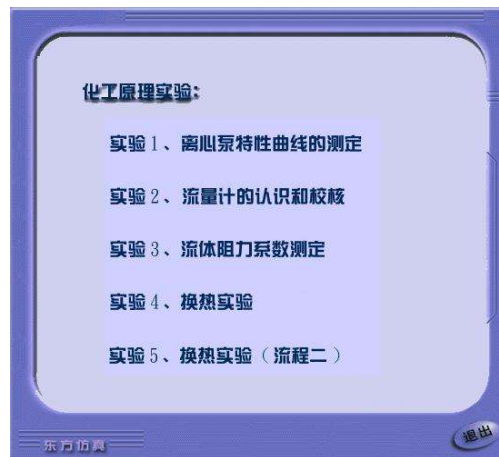
二、启动实验:

用鼠标点击“开始—程序—东方仿真—化工原理实验—化原实验上篇（或化原实验下篇）”启动实验，出现如下图所示画面：

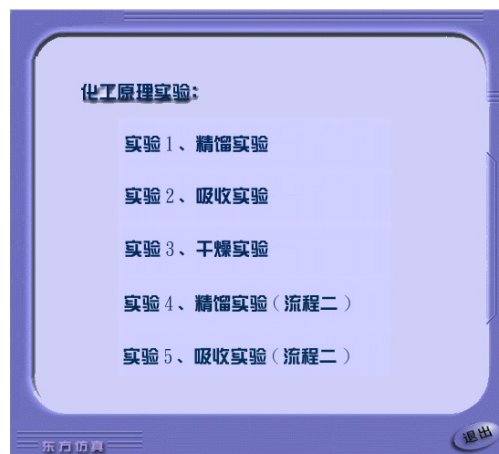


在此画面上用鼠标左键点击，可出现如下实验上篇或实验下篇的画面：

实验上篇：



实验下篇：

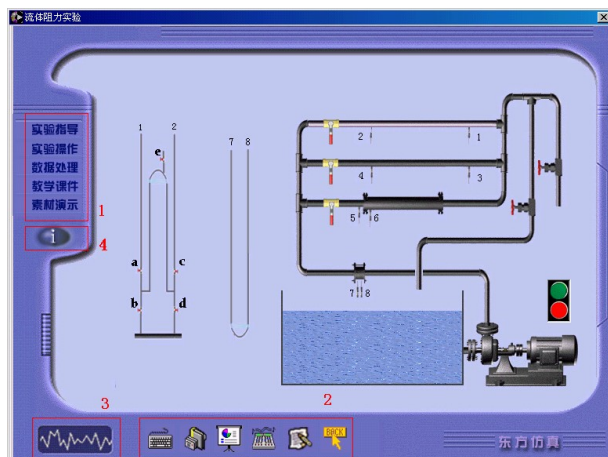


将鼠标移动到要做的实验名称的相应条目上，用鼠标左键点击即可启动实验。

三、系统功能：

下面以流体阻力系数测定实验为例，介绍化工原理仿真实验的系统功能，包括菜单的功能和内容，一些共有设备的调节方法，以及某些部分的使用方法等。请务必仔细阅读，在以后的实验步骤介绍中，遇到相关的使用方法问题，将不再做单独介绍。

主菜单界面如下图所示：



主界面的菜单分两部分，包括左侧菜单（图中 1,4 号方框所圈部分），和下方菜单（图中 2,3 号方框所圈部分）。

左侧菜单为系统调用菜单，用于调用主界面以外的其他窗口，包括“实验指导，实验操作，数据处理，教学课件，素材演示”五项，下面做分别介绍：

实验指导 ——实验讲义相关内容，包括实验原理，设备介绍，计算公式，以及注意事项等；

实验操作 ——详细的操作指导，相当于一般 Windows 程序的帮助文件，可按 F1 键调出；


数据处理 ——数据处理窗口，包括数据的记录、计算，曲线绘制或公式回归等内容；


教学课件 ——与实验内容相关的教学课件，采用开放式设计，教师可以用自己制作的课件代替，具体方法在后面第三章介绍；


素材演示 ——真实设备的照片、录像等素材的演示；

要启动以上某个窗口，将鼠标移动到以上相应项目上点击左键即可。

下方菜单为系统功能菜单，包括一些系统的设置以及一些实验的功能，有“自动记录，记录授权，思考题，声音控制，打印设置，退出”六项，下面分别加以介绍：

 ——自动记录，可以自动记录下当前的实验数据，储存在数据处理的原始数据部分，但需要在授权中心获得授权；

 ——参数设置，可以修改当前实验的设备参数或实验条件，但需要在授权中心获得授权；

 ——思考题，与实验有关的标准化试题测试以及实验操作的评分，采用开放式设计，教师可以加入自己编的思考题，具体方法在后面第三章介绍；



——网络控制，可通过连接教师站获得实验配置信息、提交实验报告；



——授权中心，用于向用户提供各种权利的授权；



——退出，退出实验到实验菜单（实验上篇或实验下篇）。

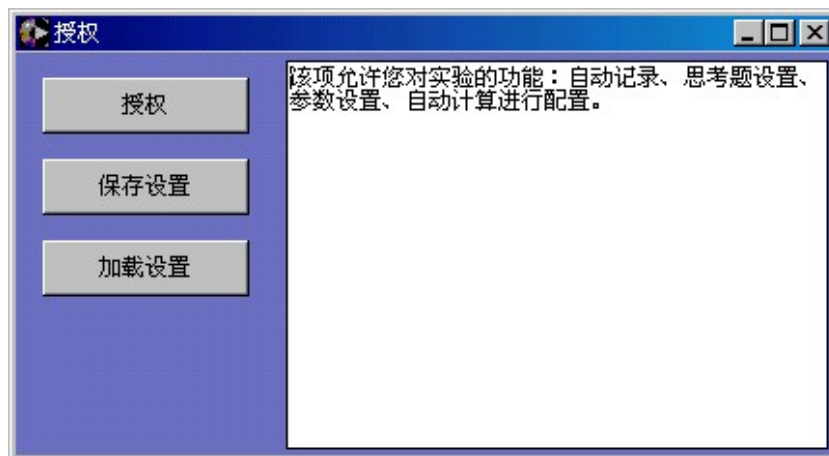
要使用以上功能，将鼠标移动到相应的项目上，菜单左侧的说明框（图中方框 3 所圈部分）会出现文字说明，点击鼠标左键即可。

图中方框 4 所圈部分为软件的信息，包括软件的版本号，开发人员等内容，用鼠标左键点击可出现信息窗口。

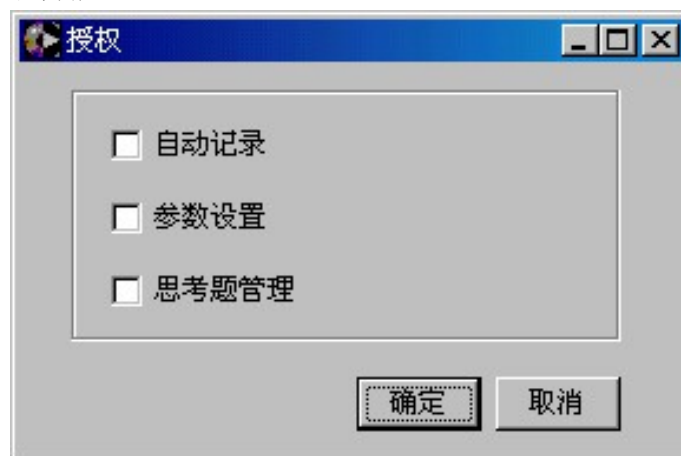
下面详细介绍各项功能：

1、授权中心的使用

点击下方菜单的授权中心按钮，出现授权中心画面，如图所示：



将鼠标放在左边的一按钮上，右边的文本框中即显示出该按钮功能的说明。点击授权按钮，即弹出密码输入框，输入正确密码后，系统就会确认您拥有配置的权利，如图所示，选择需要的权限，点击确定：



点击保存配置按钮，弹出保存配置窗体，需要输入配置文件名和密码，该密码为以后加载该实验时所要求输入的密码。输入完成后点击确认按钮即可完成配置。窗体最下方的文本框中列出了当前可用的配置文件名称，默认有两个，当实验开始时，系统自动加载名为“User”的配置文件，他只拥有最基本的功能。“Administrator”配置文件拥有系统所有的功能，为最高权限的用户。

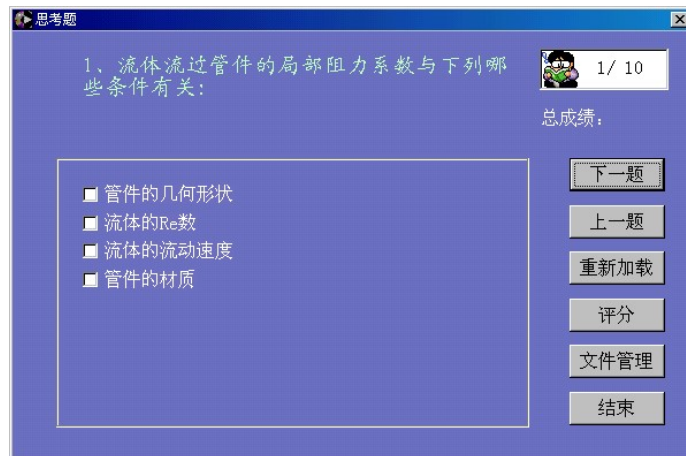


点击加载配置弹出加载配置窗体，其上方文本框中为当前可用的配置列表，用鼠标点击要加载的配置文件名称，在密码框中输入密码，按回车键即可。如下图所示：



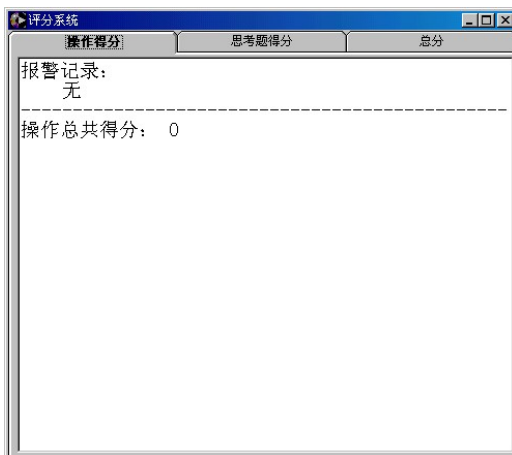
2、思考题测试的使用方法：

点击“思考题”会出现思考题登录窗口，输入班级和学号后点击“确定”键进入思考题主界面，主界面如下图所示：



思考题均为标准化试题，其中上方淡绿色文字为题干，下方方框中所列的为备选答案，答题时只需用鼠标在要选答案的前面的小方框中左键点击就可以画上一个对勾，表示已选择，再次点击后，小对勾消失，表示不选择。选择完一道题答案后可以用鼠标左键点击窗口右侧的“上一题”或“下一题”按钮上下翻动题目。右上角的图片框表示共有十道题，当前为第一题。点击“重新加载”按钮可刷新思考题，重新开始答题。

点击“评分”按钮可察看思考题得分与实验操作评分。



点击“文件管理”可编辑思考题及答案，此功能需在授权中心获得授权。如图所示：

思考题编辑器列出了思考题文件的名称，题目，以及答案。右边的小对勾表示该项为正确答案。当编辑完成后点击“保存”按钮即可保存思考题的更改。

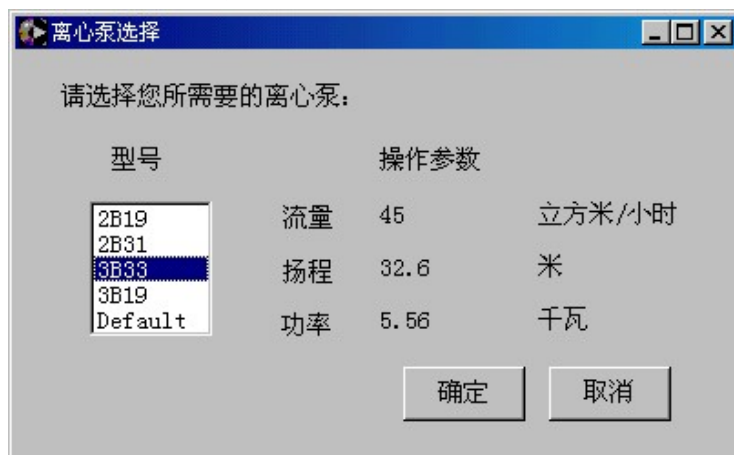
注：旧版的编辑思考题方法依旧有效，只是其答案需要在思考题编辑器中设定。



点击“结束”按钮返回主界面。

3、参数配置功能的使用

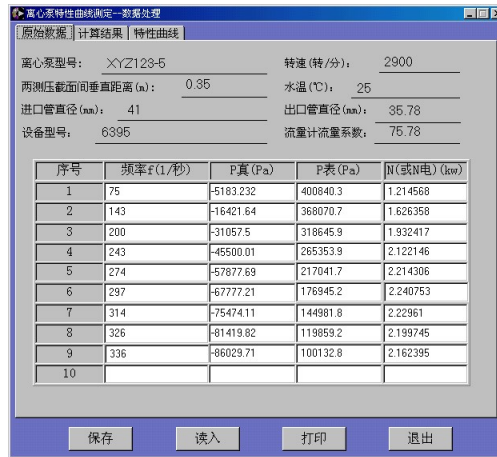
在授权中心获得设备管理的授权后，点击下方菜单的参数配置按钮，弹出参数配置画面，如图所示，选择您所需要的离心泵型号，点击确定即可。



4、数据处理的使用：

点击左侧菜单中的数据处理，弹出数据处理窗口，如图所示：

可在原始数据窗口中直接填入数据，如使用自动记录功能，系统会自动填入数据。



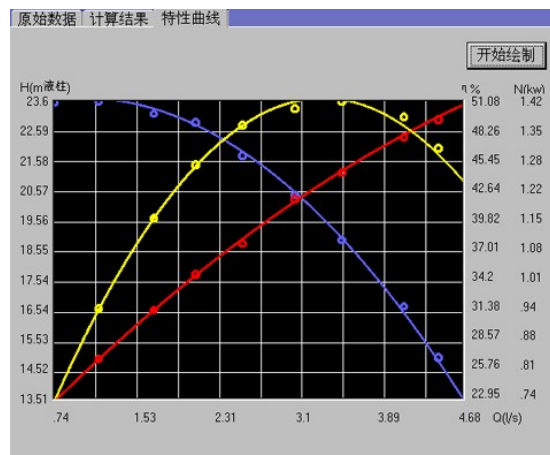
数据计算

填好数据后，如果不采用“自动计算”功能，则可以在原始数据页找到计算所需的参数，如果要使用“自动计算”功能，在相应的计算结果页点击“自动计算”即可，数据即可自动计算并自动填入。如图所示。



特性曲线绘制

计算完成后，如上图所示在曲线页点击“开始绘制”即可根据数据自动绘制出曲线。



5、网络控制（学生站）

点击下方菜单的“网络控制”，弹出连接对话框：

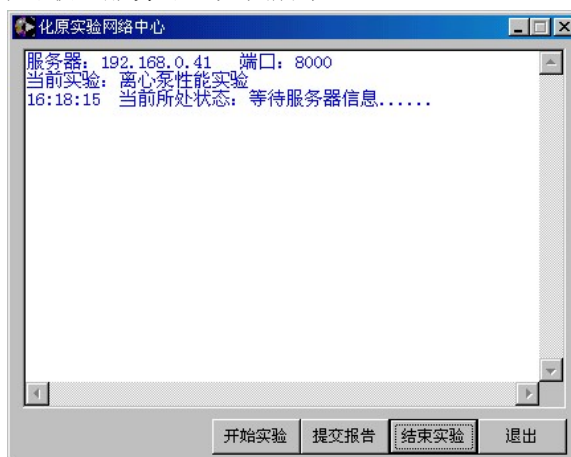


连接对话框，包含以下输入项：

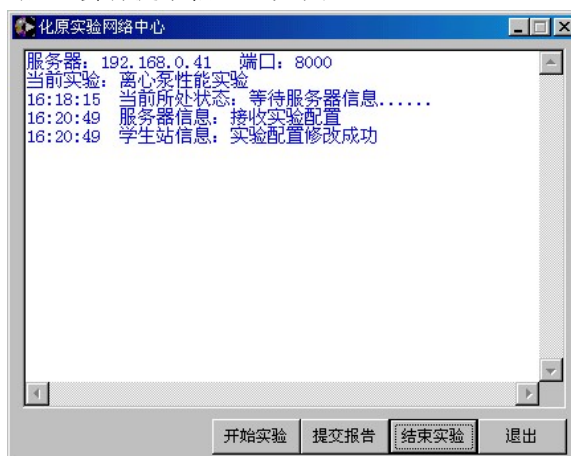
- 服务器IP：192.168.0.41
- 端口号：8000
- 姓名：[]
- 学号：[]

底部有一个“连接服务器”按钮。

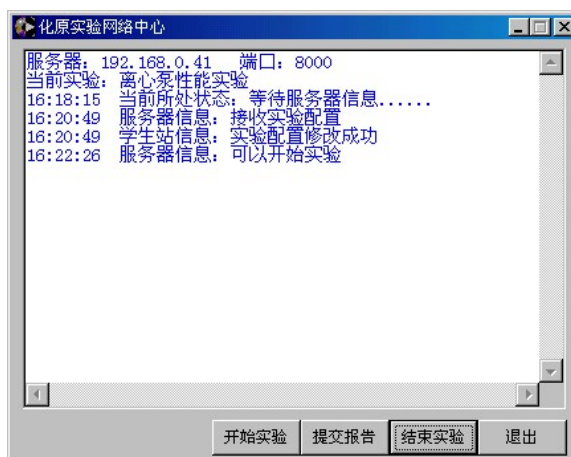
输入服务器的 IP 地址和端口号（可由教师站获得），填写姓名，学号，点击连接服务器按钮，过一段时间后，即可联入服务器，如图所示：



图中显示当前正准备接受来自服务器的信息，此时教师站即可向该学生站发送配置信息，当学生站接受完信息后，会有提示信息，如图：



当服务器确认实验配置信息传送正确后，会传递开始实验的信息，如图：



最小化此窗口，**注意不要关闭窗口**，开始实验（此时如点击开始实验按钮可向教师站回传开始实验的信息）。

当实验结束，并生成实验报告，做完所有思考题后，点击提交报告按钮，将出现一选择文件窗口，选择生成的实验报告文件，点击打开，即可将此文件传到教师站上。如图：



最后点击结束实验，可向教师站传送本次实验的得分，以及结束信息，并断开与教师站的连接。

6、网络控制（教师站）

(1) 启动教师站



如图所示，端口号为任一数值，建议使用8000；主机IP为您所用的计算机的IP地址，如果文本框中所列出的地址与您计算机的IP地址不符，请仔细检查您计算机的网络设

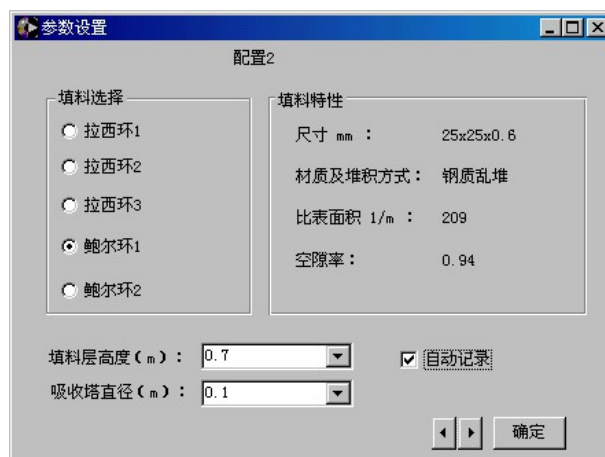
置。当学生站登录时所用的主机IP地址与端口号既为上述的IP地址与端口号。

最大学生站数为主机所能支持的最多学生站的数目，请根据实际情况填写。

选择要进行的实验名称，点击启动服务器按钮，即可启动服务器。

(2) 编辑实验配置

点击“实验-编辑实验配置”或左边的“编辑”按钮即可打开编辑实验配置界面，如图所示：



程序共可记录5组实验配置，分别为配置1--5，点击右下方的向前或向后按钮可浏览和编辑各组实验配置，完成实验配置后点击确定按钮退出编辑界面。

注：只有编辑完配置后才能向学生站发送配置信息，否则学生站将收到错误的信息。

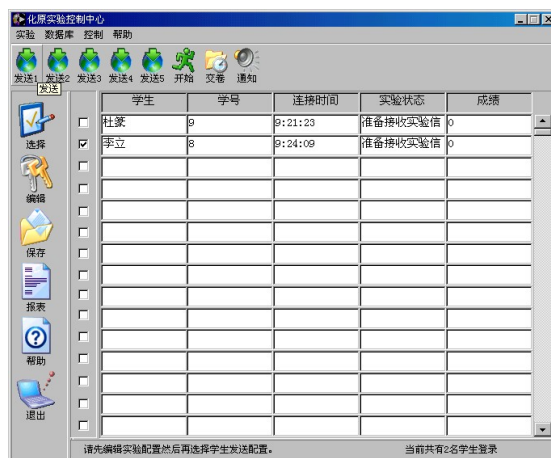
(3) 发送配置

编辑实验配置后，即可向学生发送特定的配置信息。首先，选定接受信息的学生站，如图所示：

点击要接受信息的学生的姓名旁的选项框，当框中有小对勾时，表明该学生已被选定。重复该步骤选择可选定多个学生。

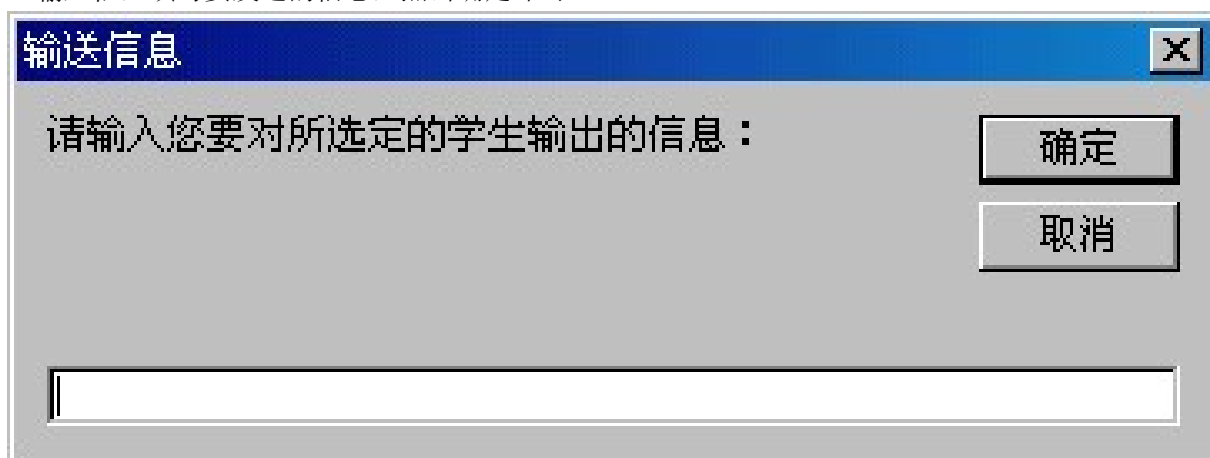
选择学生完毕后，点击上方工具栏上的“发送？”（?为数字1--5，代表配置1--5），发送相关的配置信息。

如果学生站成功接受信息，将在实验状态栏中显示“接受实验配置完毕”的信息。点击上方工具栏上的“开始”按钮即可通知学生开始实验。



(4) 发送消息:

教师站可向学生站发送特定的信息, 点击上方工具栏上的“开始”和“交卷”可通知学生开始实验和结束实验。如果要发送其他信息, 请点击“通知”按钮, 即可弹出一输入框, 填写要发送的信息, 点击确定即可。



(5) 查看与保存学生成绩以及实验报告

学生完成实验实验状态栏上会显示完成实验, 同时成绩栏中会显示其成绩, 如要查看学生的实验报告, 点击左边的报表按钮, 学生站的报表默认存储在教师站安装目录的 \Report文件夹下, 点击报表的打开按钮选择文件即可。

7、电源开关的使用:

实验设备的电源开关有两种, 如下面两图所示:

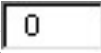




左边一种要接通电源用鼠标左键点击开关上的绿色按钮, 关闭电源时用鼠标左键点击红色按钮。右边一种现在处于关闭状态, 要打开时用鼠标左键点击, 关闭时再次点击即可。

8、阀门的调节:

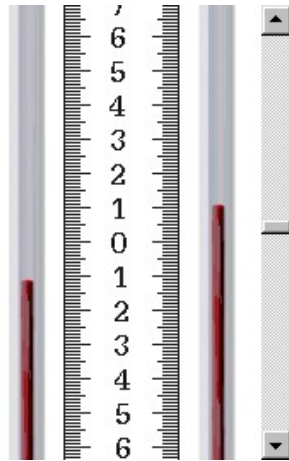
阀门是实验过程中经常要调节的设备, 下面介绍它的调节方法, 点击可调节的阀门会出现阀门调节窗口, 如下图所示:



图中方框  显示数字为阀门开度，范围是 0~100。要增加开度，用鼠标左键点击 ，每次增加 5 开度，要减少开度，用鼠标左键点击 ，每次减小 5 开度。也可以在开度显示框中直接输入所需的开度，然后在窗口内用鼠标右键点击关闭窗口即可。注意，如果用鼠标左键点击窗口右上角的“X”关闭窗口，则输入的开度将不会被应用。另外，如果输入的开度小于 0，按 0 计，大于 100，按 100 计。

9、压差计读数：

实验中的压差计在设备图中都比较小，用鼠标左键点击即可放大，如下图所示(右键点击恢复)：



压差计中的介质有很多种，颜色各不相同，为了便于读数，我们把介质的颜色统一为红色，但是其中的介质种类要以具体实验为准。用鼠标拖动滚动条可以读取压差计两边的液柱高度，即可得到两边液柱高度差，进而求得压差。

第二章 仿真实验指导书

实验一 离心泵性能曲线测定

一、实验原理:

离心泵的主要性能参数有流量 Q (也叫送液能力)、扬程 H (也叫压头)、轴功率 N 和效率 η 。在一定的转速下,离心泵的扬程 H 、轴功率 N 和效率 η 均随实际流量 Q 的大小而改变。通常用水经过实验测出: Q - H 、 Q - N 及 Q - η 之间的关系,并以三条曲线分别表示出来,这三条曲线就称之为离心泵的特性曲线。

离心泵的特性曲线是确定泵适宜的操作条件和选用离心泵的重要依据。但是,离心泵的特性曲线目前还不能用解析方法进行精确计算,仅能通过实验来测定,而且离心泵的性能全都与转速有关;在实际应用过程中,大多数离心泵又是在恒定转速下运行,所以我们要学习离心泵恒定转速下特性曲线的测定方法。

泵的扬程用下式计算:

$$H_e = H_{\text{压力表}} + H_{\text{真空表}} + H_0 + (u_{\text{出}}^2 - u_{\text{入}}^2) / 2g$$

式中: $H_{\text{压力表}}$ ——泵出口处压力

$H_{\text{真空表}}$ ——泵入口处真空度

H_0 ——压力表和真空表测压口之间的垂直距离

泵的总效率为:

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

其中, N_e 为泵的有效功率:

$$N_e = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_e$$

式中: ρ ——液体密度

g ——重力加速度常数

Q ——泵的流量

N_a 为输入离心泵的功率:

$$N_a = K \cdot N_{\text{电}} \cdot \eta_{\text{电}} \cdot \eta_{\text{转}}$$

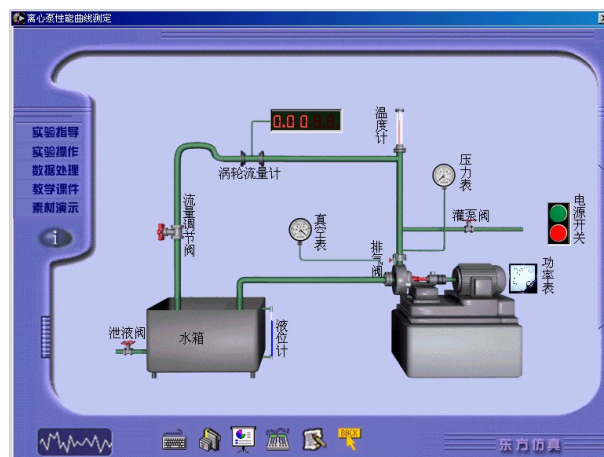
式中: K ——用标准功率表校正功率表的校正系数,一般取 1

$N_{\text{电}}$ ——电机的输入功率

$\eta_{\text{电}}$ ——电机的效率

$\eta_{\text{转}}$ ——传动装置的传动效率

二、实验设备及流程:



设备参数:

泵的转速: 2900 转/分

电机效率: 93%

水温: 25℃

泵出口管内径: 35.78mm

涡轮流量计流量系数: 75.78

额定扬程: 20m

传动效率: 100%

泵进口管内径: 41mm

两测压口之间的垂直距离: 0.35m

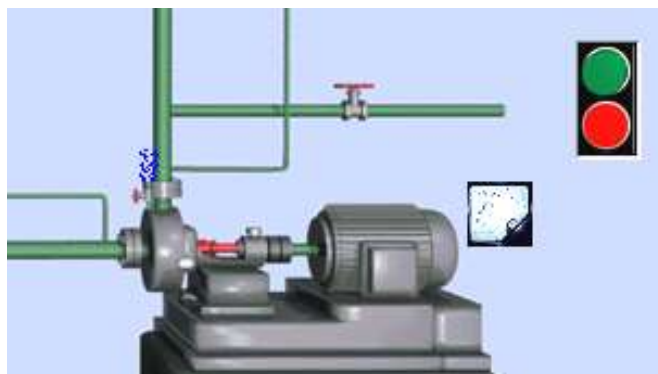
三、实验操作:

第一步: 灌泵

因为离心泵的安装高度在液面以上,所以在启动离心泵之前必须进行灌泵。如下图所示,打开灌泵阀。

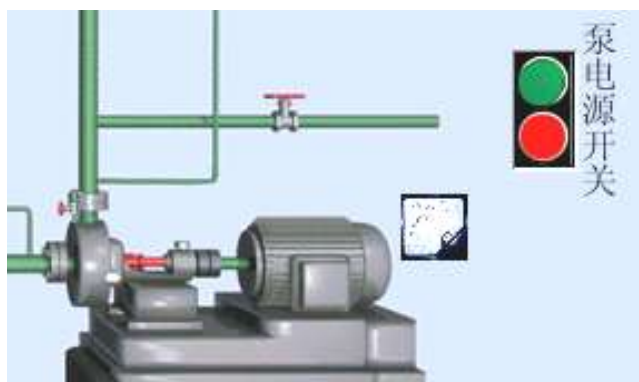


在压力表上单击鼠标左键,即可放大读数(右键点击复原)。当读数大于 0 时,说明泵壳内已经充满水,但由于泵壳上部还留有一小部分气体,所以需要排气。



调节排气阀开度大于 0,即可放出气体,气体排尽后,会有液体涌出,如上图所示。此时关闭排气阀和灌泵阀,灌泵工作完成。

第二步: 开泵



灌泵完成后，打开泵电源开关，启动离心泵。

注意：在启动离心泵时，主调节阀应关闭，如果主调节阀全开，会导致泵启动时功率过大，从而可能引发烧泵事故。

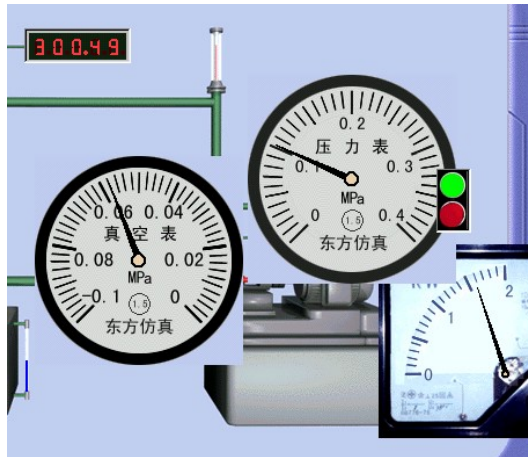
第三步、建立流动



启动离心泵后，调节主调节阀的开度为 100。

第四步：读取数据

等涡轮流量计的示数稳定后，即可读数。鼠标左键点击压力表、真空表和功率表，即可将其放大，以读取数据，如下图所示：



注意：务必要等到流量稳定后再读数，否则会引起数据不准。

第五步：记录数据

鼠标左键点击实验主画面左边菜单中的“数据处理”，可调出数据处理窗口，在原始数据页按项目分别将数据填入记录表，也可在用点击“打印数据记录表”键所打印的数据记录表中记录数据，两者形式基本相同，注意单位换算。

序号	频率 f (1/秒)	P真(Pa)	P表(Pa)	N(或N电)(kw)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

注意：如果您使用自动记录功能，则当您点击“自动记录”键时，数据会被自动写入而不需手动填写。

第六步：记录多组数据

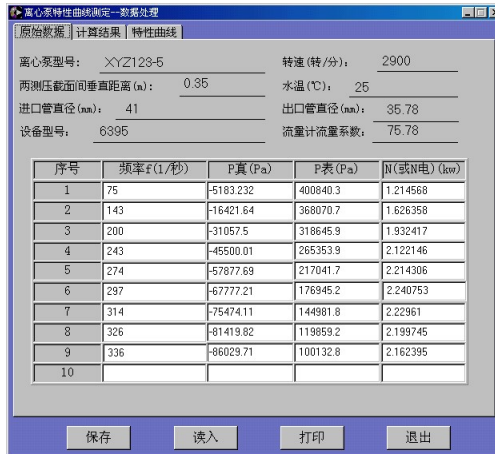
调节主调节阀的开度以改变流量，然后重复上述第4—5步，从大到小测10组数据。记录完毕后进入数据处理。

注意事项：

- (1)、当没有完成灌泵时启动泵会发生气缚现象，造成数据波动。

四、数据处理：

第一步：记录原始数据



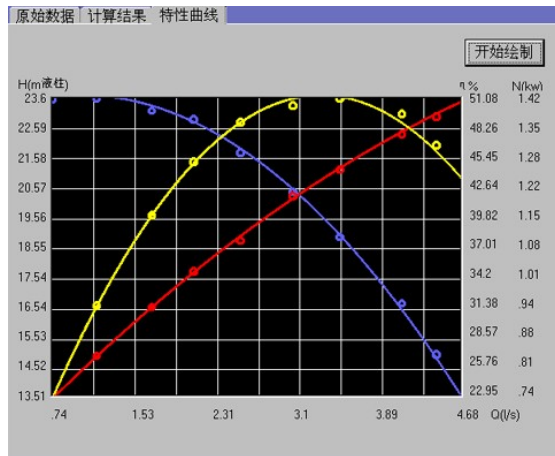
如果您使用“自动记录”功能或已经将数据记录在数据库内，则可以跳过此步，如果您是将数据记录在用点击“打印数据记录表”键所打印的数据记录表内，则请您将数据填入表格中。

第二步：数据计算

填好数据后，如果不采用“自动计算”功能，则可以在原始数据页找到计算所需的参数，如果要使用“自动计算”功能，在相应的计算结果页点击“自动计算”即可，数据即可自动计算并自动填入。如图所示。



第三步：特性曲线绘制



计算完成后，如上图所示在曲线页点击“开始绘制”即可根据数据自动绘制出曲线。

五、实验报告

1、点击数据处理窗口下面一排按钮中的“打印”按钮，即可调出实验报表窗口。

流量 Q (l/s)	扬程 H (m)	轴功率 P _轴 (W)	效率 η (%)
75	13.51	5183.232	1.214568
143	16.54	16421.64	1.628358
200	20.57	31057.5	1.932417
243	22.59	45500.01	2.122146
274	21.58	57877.69	2.214306
297	20.57	67777.21	2.240753
314	19.56	75474.11	2.22961
326	18.55	81419.82	2.199745
336	17.54	86029.71	2.162395

流量 Q (立方米/秒)	扬程 H (液柱)	轴功率 P _轴 (W)	总效率 η (%)
0.8970712-04	40.73106	1.214568	32.52645

2、点击数据处理窗口下面一排按钮中的“保存”按钮，可保存原始数据到磁盘文件，并可点击“读入”按钮读入该数据文件。

实验二 流量计的认识和校验

一、实验原理:

1、孔板流量计的结构原理

在管路上装有一块孔板，孔板两侧接测压管，分别与 U 型压差计相连接。孔板流量计是利用流体通过锐孔的节流作用，使流速增大，压强减小，造成孔板前后压强差，作为测量的依据。若管路直径为 d_1 ，孔板锐孔直径为 d_0 ，流体流经孔板后所形成缩脉的直径为 d_2 ，流体密度为 ρ 。在界面 I，II 处即孔板前测压导管处和缩脉处的速度，压强分别为 u_1, u_2 与 p_1, p_2 ，根据柏努利方程式，不考虑能量损失可得：

$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} = \frac{p_1 - p_2}{\rho} = gh$$

或

$$\sqrt{u_2^2 - u_1^2} = \sqrt{2gh}$$

由于缩脉的位置随流速的变化而变化，截面积 S_2 又难以知道，而孔口的面积却是知道的，测压口的位置在设备制成后也不改变，因此，用孔板孔径处的 u_0 来代替 u_2 ，又考虑到流体因局部阻力而造成的能量损失，并用校正系数 C 来校正。则有：

$$\sqrt{u_0^2 - u_1^2} = C\sqrt{2gh}$$

对于不可压缩流体，根据连续性方程式又有：

$$u_1 = u_0 \frac{S_0}{S_1}$$

则经过整理后可得：

$$u_0 = C \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_0}{S_1}\right)^2}}$$

$$C_0 = \frac{C}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_0}{S_1}\right)^2}}$$

令

$$u_0 = C_0 \sqrt{2gh}$$

根据 u_0 和 S_2 即可算出流体的体积流量：

$$Vs = u_0 \cdot S_0 = C_0 \cdot S_0 \sqrt{2gh} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

或

$$Vs = C_0 S_0 \sqrt{\frac{2gR(\rho_r - \rho)}{\rho}} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

式中：

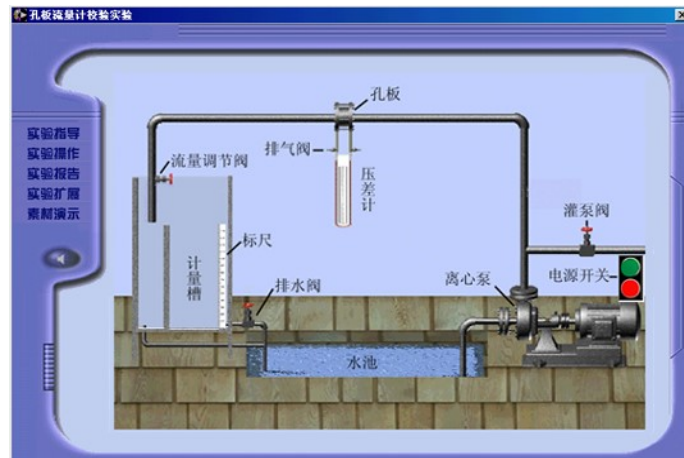
R—U 型压差计的读数，[m]；

ρ_r —压差计中指示液的密度，[kg/m³]；

C_0 —孔流系数，它由孔板锐孔的形状，测压口的位置，孔径与管径比和雷诺准数共

同决定，具体数值由实验确定。当 d_1/d_2 一定， Re 准数超过某个数值后， C_0 就接近于定值。一般在工业上定型孔板流量计都规定在 C_0 为常数的流动条件下使用。

二、实验设备流程：



设备参数：

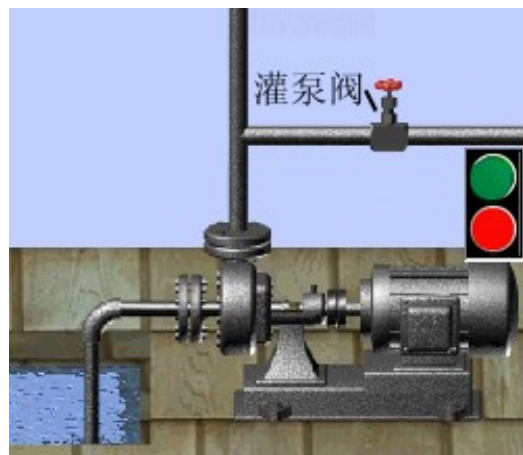
计量桶面积：1m²

管道直径：30mm

孔板开孔直径：20mm

三、实验操作：

第一步：灌泵



因为离心泵的安装高度在液面以上，所以在启动离心泵之前必须进行灌泵。因为本实验的重点在流量计，而不是离心泵，所以对灌泵进行了简化，如图所示，只要调节灌泵阀开度大于 0，等待 10 秒以上，然后关闭，系统就会认为已经完成了灌泵操作。

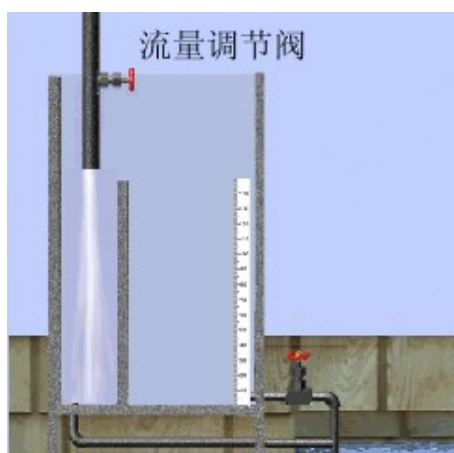
第二步：开泵

灌泵工作完成后，点击电源开关的绿色按钮接通电源，就可以启动离心泵，并开始工作。

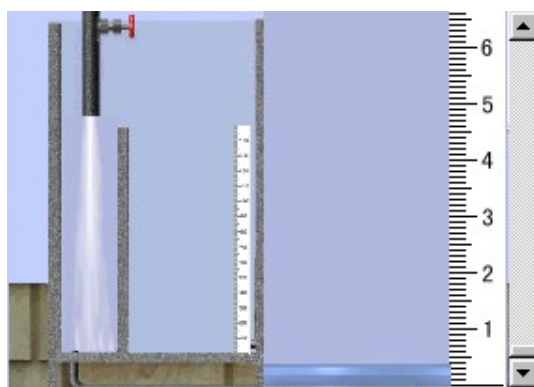


第三步：

启动离心泵后，调节主调节阀的开度为 100，即可建立流动，如图所示。

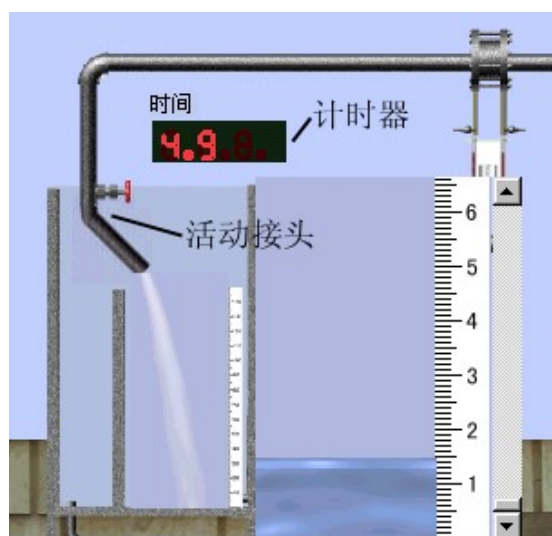


第四步：读取数据

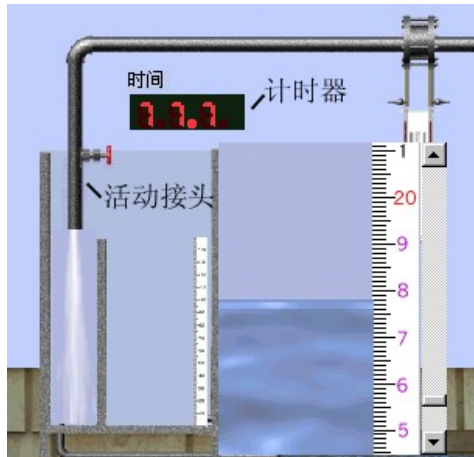


用鼠标左键点击标尺，即可调出标尺的读数画面，先记录下液面的初始高度。鼠标右键点击可关闭标尺画面。

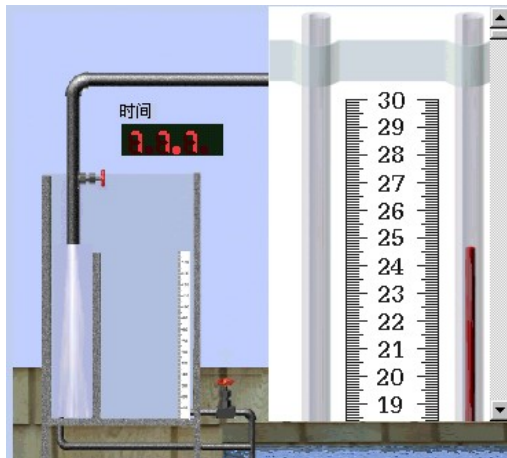
然后用鼠标左键点击活动接头，即可把水流引向计量槽，可以看到液面开始上升，同时计时器会自动开始计时。



当液面上升到一定高度时，鼠标左键点击活动接头，将其转到泄液部分，同时计时器也会自动停止。此时记录下液面高度和计时器读数。



用鼠标左键点击压差计，用鼠标拖动滚动条，读取压差。



第五步：记录数据

数据处理			
原始数据	计算结果	数据曲线	实验参数
姓名: _____	班级: _____		
学号: _____	日期: 01-9-5		
标尺读数前 (mm)	标尺读数后 (mm)	秒表读数 (s)	压差计读数 (mm)
0.0	5.1	14.0	4.7
5.1	13.2	11.2	19.9
13.2	29.3	14.9	46.3
29.3	48.2	13.0	83.8
48.2	69.5	11.8	131.8
69.5	99.7	13.9	190.3
99.7	127.8	11.1	269.2
127.8	172.1	15.3	339.2
172.1	236.9	19.9	431.0
236.9	283.5	12.9	535.2

保存 读入 打印 退出

鼠标左键点击实验主画面左边菜单中的“数据处理”，可调出数据处理窗口，点击原始数据页，按标准数据库操作方法在正 U 型压差计和倒 U 型压差计两栏中分别填入从正 U 型压差计和倒 U 型压差计所读取的数据。也可在用点击“打印数据记录表”键所打印的数据记录表中记录数据。

注意：如果您使用自动记录功能，则当您点击“自动记录”键时，数据会被自动写入而不需手动填写。为了更好的表现孔流系数 C_0 在 Re 比较小时随 Re 的变化，我们把实验中的流量定得很低，以获得较小的 Re 。另外，一般流量计校验实验是在孔流系数几乎不变的范围内测定多次取平均值，以得到 C_0 ，而不采用 C_0 随 Re 的变化关系。因此，如果用手动记录数据和计算，就会出现很大的误差，用自动计算可以得到比较好的结果。

第六步：记录多组数据

调节主调节阀的开度以改变流量，然后重复上述第 4——5 步，为了实验精度和回归曲线的需要，至少要测 10 组数据。记录完毕后进入数据处理。

四、数据处理：

第一步：记录原始数据

标尺读数前 (mm)	标尺读数后 (mm)	秒表读数 (s)	压差计读数 (mm)
0.0	5.1	14.0	4.7
5.1	13.2	11.2	19.9
13.2	29.3	14.9	46.3
25.3	48.2	13.0	83.8
48.2	69.5	11.8	131.8
69.5	99.7	13.9	190.3
99.7	127.8	11.1	269.2
127.8	172.1	16.3	339.2
172.1	236.9	19.9	431.0
236.9	283.5	12.9	555.2

如果您使用“自动记录”功能或已经将数据记录在数据库内，则可以跳过此步，如果您是将数据记录在用点击“打印数据记录表”键所打印的数据记录表内，请您参阅数据记录将所有数据填入数据库。

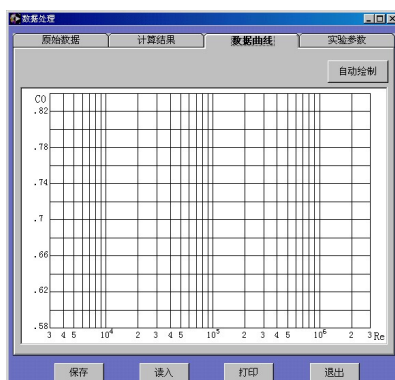
第二步：数据计算

序号N	流量Q (m³/s)	雷诺准数Re	孔流系数C0
1	0.000541353	22975.8	0.32109
2	0.000727273	30895.4	0.32239
3	0.001083333	45978.1	0.31903
4	0.001366667	53759.1	0.31937
5	0.001619718	68743.0	0.31705
6	0.001818181	77185.1	0.32007
7	0.001989796	84449.6	0.31826
8	0.002171429	92188.4	0.31821
9	0.00228096	94987.8	0.31735

如果要使用“自动计算”功能，在相应的计算结果页点击“自动计算”即可，如上图所示。

数据即可自动计算并自动填入数据库。

第三步：曲线绘制



计算完成后，如上图所示在曲线页点击“开始绘制”即可根据数据自动绘制出曲线。

实验三 流体阻力实验

一、实验原理:

流体在管道内流动时,由于流体的粘性作用和涡流的影响会产生阻力。流体在直管内流动阻力的大小与管长、管径、流体流速和管道摩擦系数有关,它们之间存在如下关系。

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

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

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

式中:

d ——管内径, [m];

ΔP_f ——直管阻力引起的压强降, [Pa];

u ——流速, [m/s];

ρ ——流体的密度, [kg/m³];

μ ——流体的粘度, [N·s/m²].

直管摩擦系数 λ 与雷诺数 Re 之间有一定的关系,这个关系一般用曲线来表示。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 ρ 和粘度 μ 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 ΔP_f , 与流速 u (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 λ ; 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 λ 与 Re 的关系曲线。

对于局部阻力, 则有:

$$h_f = \xi \cdot \frac{u^2}{2}$$

ξ 称为局部阻力系数, 它与流体流过的管件的几何形状以及流体的 Re 有关, 当 Re 大到一定程度以后, ξ 与 Re 数无关, 成为定值。

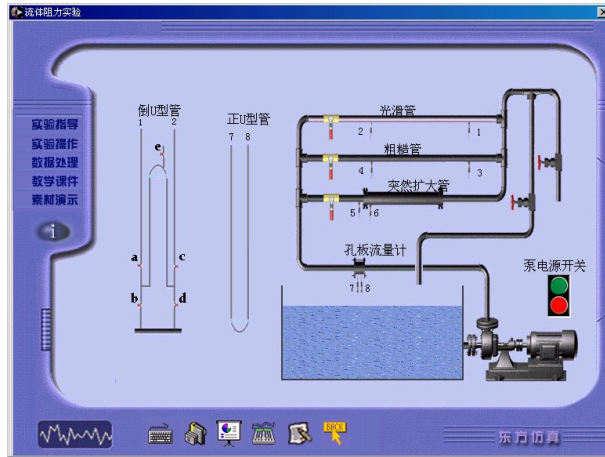
或者可以近似的认为局部阻力的损失相当于某个长度的直管引起的损失:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{l_e}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

式中:

l_e 为管件的当量长度, 由实验测得。

二、实验设备和流程:



设备参数：

光滑管：玻璃管，管内径=20mm，管长=1.5m，绝对粗糙度=0.002mm

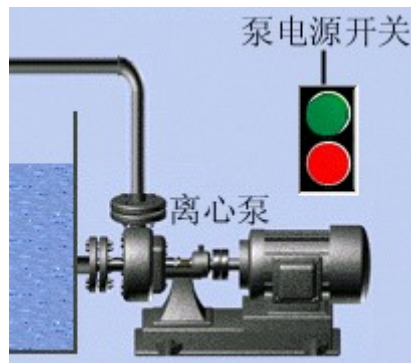
粗糙管：镀锌铁管，管内径=20mm，管长=1.5m，绝对粗糙度=0.2mm

突然扩大管：细管内径=20mm，粗管内径=40mm

孔板流量计：开孔直径=12mm，孔流系数=0.62

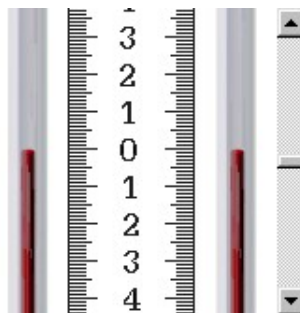
三、实验操作：

第一步：开泵

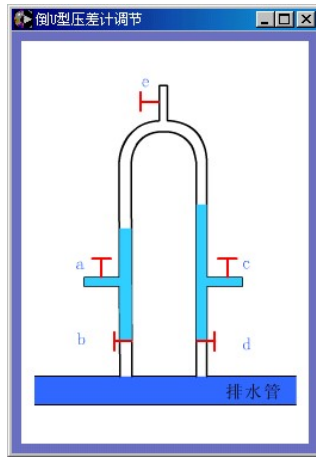


因为离心泵的安装高度比水的液面低，因此不需要灌泵。直接点击电源开关的绿色按钮接通电源，就可以启动离心泵，开始实验。

第二步：管道系统排气以及调节倒U型压差计。

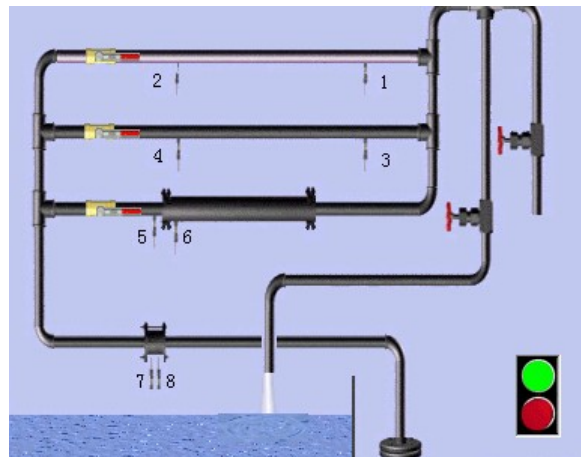


将管道中所有阀门都打开，使水在3个管路中流动一段时间，直到排尽管道中的空气，然后点击倒U型管，会出现一段调节倒U型管的动画。最后关闭各阀门，开始试验操作。



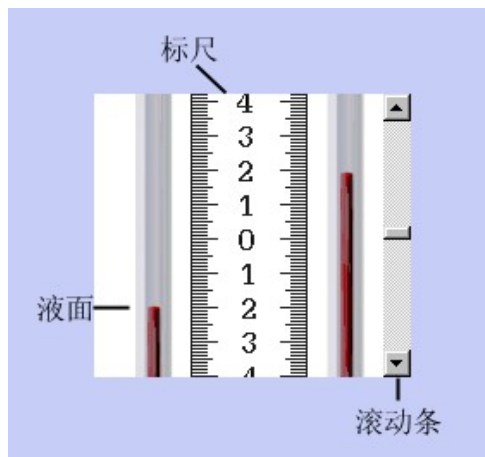
第三步：测量光滑管数据

1、光滑管建立流动



启动离心泵并调节完倒 U 型压差计后，如图所示，依次调节阀 1、阀 2、阀 3 的开度大于 0，即可建立流动。关闭粗糙管和突然扩大管的球阀，打开光滑管的球阀，使水只在光滑管中流动。

2、读取数据



鼠标左键点击正或倒 U 型压差计，即可看到如图的画面（红色液面只是作指示用，真实装置可能为其他颜色，如水银为银白色）。倒 U 型压差计的取压口与管道上的取压口相连，正 U 型压差计的取压口与孔板的取压口相连。用鼠标上下拖动滚动条即可读数。实验中每一管路均有一倒 U 型管，连续点击图中的倒 U 型管即可在 3 个倒 U 型管中切换。倒 U 型管上方的数字标出了与该管相连的管路。

注意：读数为两液面高度差，单位 mm

3、记录数据

鼠标左键点击实验主画面左边菜单中的“数据处理”，可调出数据处理窗口，点击原始数据页，按标准数据库操作方法在正 U 型压差计和倒 U 型压差计两栏中分别填入从正 U 型压差计和倒 U 型压差计所读取的数据。

注意：如果您使用自动记录功能，则当您点击“自动记录”键时，数据会被自动写入而不需手动填写。

4、记录多组数据

调节阀开度以改变流量，重复上述第 2——3 步，为了实验精度和回归曲线的需要至少应测量 10 组数据以上。

完成后进入下一步测量粗糙管数据。

第二步：测量粗糙管数据

1、粗糙管建立流动

完成光滑管数据的测量和记录后，建立粗糙管的流动。

2、测量并记录数据

测量粗糙管的数据与测量光滑管的数据操作步骤相同，重复测量光滑管数据步骤的第 2——4 步，为了实验精度和回归曲线的需要至少应测量 10 组数据以上。

完成后进入下一步测量突然扩大管数据。

第三步：测量突然扩大管数据

1、突然扩大管建立流动

完成粗糙管数据的测量和记录后，建立突然扩大管的流动。

2、突然扩大管数据的测量记录

测量突然扩大管的数据与测量光滑管的数据操作步骤相同，重复测量光滑管数据步骤的第 2——4 步，为了实验精度和回归曲线的需要至少应测量 10 组数据以上。完成后进入数据处理。

注意事项：

- (1) 为了接近理想的光滑管，我们选用了玻璃管，实际上在普通实验室中很少采用玻璃管。
- (2) 为了更好的回归处理数据，请尽量多的测量数据，并且尽量使数据分布在整个流量范围内。
- (3) 在层流范围内，用阀门按钮调节很难控制精度，请在阀门开度栏内自己输入开度数值（阀门开度小于 5）。
- (4) 对于突然扩大管，我们做了简化，认为阻力系数是定值，不随 Re 变化。

四、数据处理

第一步：原始数据记录

光滑管数据		粗糙管数据		突然扩大管数据	
正压压差计	负压压差计	正压压差计	负压压差计	正压压差计	负压压差计
32.9	40.2	517.8	882.8	32.9	10.7
95.7	101.2	481.5	822.2	95.7	31.3
164.4	182.6	441.3	754.9	164.4	53.8
230.6	219.4	396.6	660.0	230.6	75.4
291.6	270.2	346.9	596.6	291.6	95.4
346.9	315.4	291.6	503.7	346.9	113.5
396.6	355.5	230.6	400.7	396.6	129.7
441.3	391.1	184.4	288.5	441.3	144.3
481.5	422.9	95.7	171.1	481.5	157.5
517.8	451.4	32.9	61.6	517.8	169.4

注意：由于三组数据的格式相同，请您注意不要混淆

第二步：数据计算

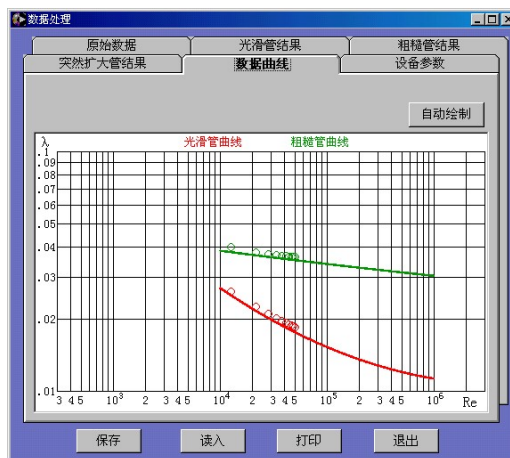
填好数据后，如果不采用“自动计算”功能，则可以在数据处理的“设备参数”页得到计算所需的设备参数。

如果要使用“自动计算”功能，在相应的计算结果页点击“自动计算”即可。

数据即可自动计算并自动填入数据库。

第三步：曲线绘制

计算完成后，如下图所示在曲线页点击“开始绘制”即可根据数据自动绘制出曲线



实验四 传热实验

一、实验原理:

对流传热的核心问题是求算传热膜系数 α ，当流体无相变时对流传热准数关联式的一般形式为:

$$Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot Gr^p$$

对于强制湍流而言，Gr 准数可以忽略，故

$$Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

本实验中，可用图解法和最小二乘法计算上述准数关联式中的指数 m 、 n 和系数 A 。

用图解法对多变量方程进行关联时，要对不同变量 Re 和 Pr 分别回归。本实验简化上式，即取 $n=0.4$ （流体被加热）。这样，上式即变为单变量方程，再两边取对数，即得到直线方程:

$$\lg \frac{Nu}{Pr^{0.4}} = \lg A + m \lg Re$$

在双对数坐标中作图，找出直线斜率，即为方程的指数 m 。在直线上任取一点的函数值代入方程中，则可得到系数 A ，即:

$$A = \frac{Nu}{Pr^{0.4} \cdot Re^m}$$

用图解法，根据实验点确定直线位置有一定的人为性。而用最小二乘法回归，可以得到最佳关联结果。应用微机，对多变量方程进行一次回归，就能同时得到 A 、 m 、 n 。

对于方程的关联，首先要有 Nu 、 Re 、 Pr 的数据组。其准数定义式分别为:

$$Re = \frac{d \cdot u \cdot \rho}{\mu}, Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda}, Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

实验中改变冷却水的流量以改变 Re 准数的值。根据定性温度（冷却水进、出口温度的算术平均值）计算对应的 Pr 准数值。同时，由牛顿冷却定律，求出不同流速下的传热膜系数 α 值。进而算得 Nu 准数值。

牛顿冷却定律:

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta t_m$$

式中:

α —传热膜系数, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$;

Q —传热量, $[W]$;

A —总传热面积, $[m^2]$;

Δt_m —管壁温度与管内流体温度的对数平均温差, $[^\circ C]$ 。

传热量 Q 可由下式求得:

$$Q = W \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) / 3600 = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) / 3600$$

式中:

W —质量流量, $[kg/h]$;

C_p —流体定压比热, $[J/kg \cdot ^\circ C]$;

t_1 、 t_2 —流体进、出口温度, $[^\circ C]$;

ρ —定性温度下流体密度, $[\text{kg}/\text{m}^3]$;

V —流体体积流量, $[\text{m}^3/\text{s}]$ 。

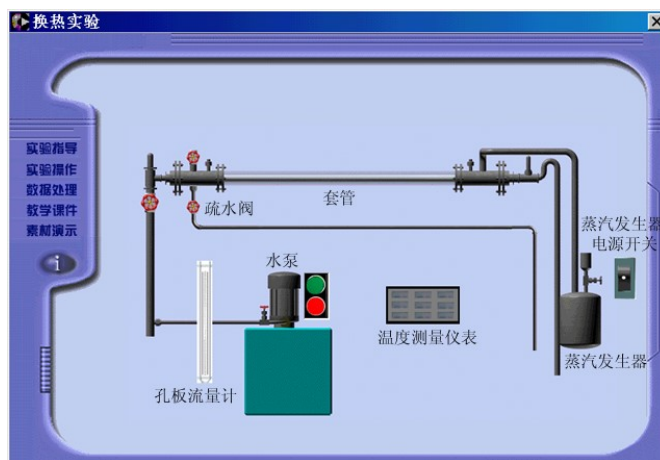
二、实验设备流程:

本装置流程如下图所示, 冷水经由泵, U 型压差计, 进入换热器内管, 并与套管环隙中蒸汽换热。冷水流量可用流量控制阀调节。

蒸汽由蒸汽发生器上升进入套管环隙, 与内管中冷水换热。放气阀门用于排放不凝性气体。在铜管之前设有一定长度的稳定段, 是为消除端效应。铜管两端用塑料管与管路相连, 是为消除热应力。

本实验装置冷水走内管, 蒸汽走环隙 (玻璃管)。水进、出口温度和管壁温度分别由铂电阻 (Pt100) 测得。测量水进、出口温度的铂电阻应置于进、出口的中心。测量管壁温度的铂电阻用导热绝缘胶固定在内管外壁两端。孔板流量计的压差由 U 型压差计测得。

本实验蒸汽发生器由不锈钢制成, 安有玻璃液位计。发生器的热功率为 1.5kw。



设备参数:

孔板流量计:

流量计算关联式: $V=4.49 \bullet R^{0.5}$

式中:

R ——孔板压差, $[\text{mmH}_2\text{O}]$

V ——空气流量, $[\text{m}^3/\text{h}]$

换热套管:

套管外管为玻璃管, 内管为黄铜管。

套管有效长度: 1.25m, 内管内径: 0.022m

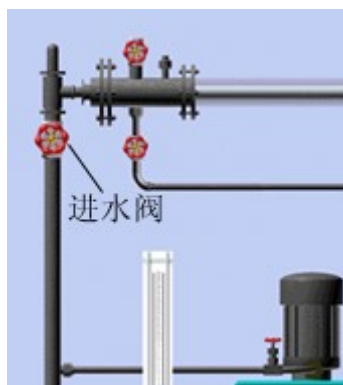
三、实验操作:

第一步: 启动水泵



点击电源开关的绿色按钮, 启动水泵, 水泵为换热器的管程提供水源。

第二步：打开进水阀

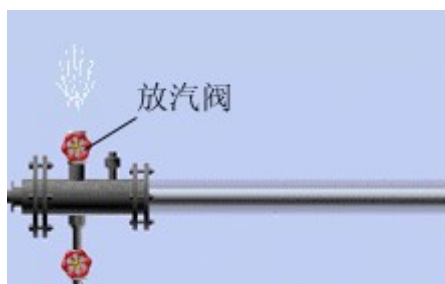


开泵后，调节进水阀至微开，这时换热器的管程中就有水流动了。
第三步：打开蒸汽发生器



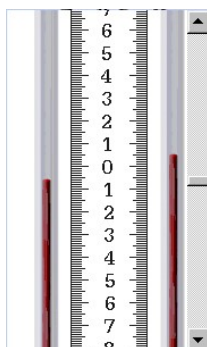
蒸汽发生器的开关在蒸汽发生器的右侧。鼠标左键单击开关，这时蒸汽发生器就通电开始加热，并向换热器的壳程供汽。

第四步：打开放汽阀



打开放汽阀，排出残余的不凝气体，使在换热器壳程中的蒸汽流动通畅。
第五步：读取水的流量

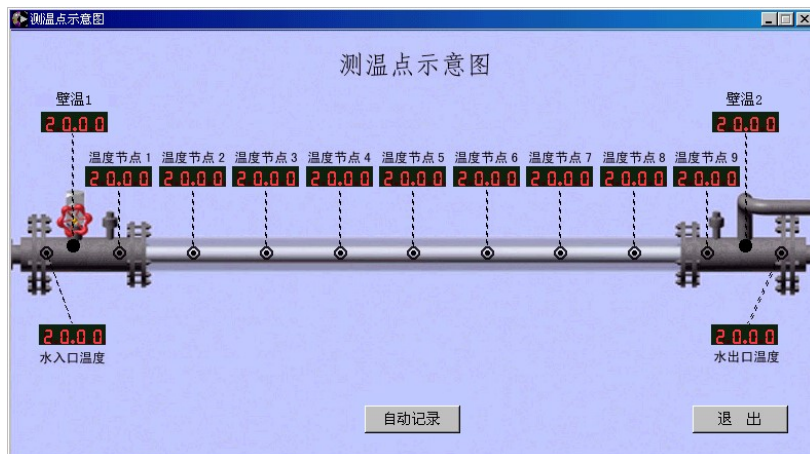
在图中点击孔板流量计的压差计出现读数画面。读取压差计读数。经过计算可得冷水的流量。



第六步：读取温度

在换热管或者测温仪上点击会出现温度读数画面。

读取各处温度数值。其中温度节点 1-9 的温度为观察温度分布用，在数据处理中用不到。蒸汽进出口及水进出口的温度需要记录。按自动记录可由计算机自动记录实验数据。按退出按钮关闭温度读取画面。



第七步：记录多组数据

改变进水阀开度，重复以上步骤，读取 8~10 组数据。

实验结束后，先停蒸汽发生器，再关进水阀。

注意事项：

(1)、学校的设备一般比较陈旧，都是需要用电为差压计测量电流然后计算温度的，此套设备比较先进，采用了数字显示仪表直接显示温度。

(2)、关于排放不凝气：如果不打开放气阀，理论上套管内的压力应该不断增大，最后爆炸，实际上由于套管的密封程度不是很好，会漏气，所以压力不会升高很多，基本可以忽略。另外不凝气的影响在实际的实验中并不是很大，在仿真实验中为了说明做了夸大。

(3) 蒸汽发生器：关于蒸汽发生器的控制和安全问题做了简化。

(4) 传热实验有两个流程，另一个管内的介质为空气，原理一样，只是流程稍有不同。

四、数据处理：

第一步：原始数据记录

原始数据页如图所示，通过该页能在数据处理中输入、编辑原始数据。



第二步：数据计算



如果要使用“自动计算”功能，在相应的计算结果页点击“自动计算”即可，如上图所示。数据即可自动计算并自动填入数据库。

使用手动计算，需要的设备参数，可参见设备参数页。

第三步：关联式

自动计算完后，可在“关联式”点击“自动关联”按钮自动给出准数关联式（即给出图中的 0.000 及 0.00 处的数值）。



实验五 传热实验(流程二)

一、实验原理:

对流传热的核心问题是求算传热膜系数 α ，当流体无相变时对流传热准数关联式的一般形式为:

$$Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot Gr^p$$

对于强制湍流而言，Gr 准数可以忽略，故

$$Nu = A \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

本实验中，可用图解法和最小二乘法计算上述准数关联式中的指数 m 、 n 和系数 A 。

用图解法对多变量方程进行关联时，要对不同变量 Re 和 Pr 分别回归。本实验简化上式，即取 $n=0.4$ （流体被加热）。这样，上式即变为单变量方程，再两边取对数，即得到直线议程：

$$\lg \frac{Nu}{Pr^{0.4}} = \lg A + m \lg Re$$

在双对数坐标中作图，找出直线斜率，即为方程的指数 m 。在直线上任取一点的函数值代入方程中，则可得到系数 A ，即：

$$A = \frac{Nu}{Pr^{0.4} \cdot Re^m}$$

用图解法，根据实验点确定直线位置有一定的人为性。而用最小二乘法回归，可以得到最佳关联结果。应用微机，对多变量方程进行一次回归，就能同时得到 A 、 m 、 n 。

对于方程的关联，首先要有 Nu 、 Re 、 Pr 的数据组。其准数定义式分别为：

$$Re = \frac{d \cdot u \cdot \rho}{\mu}, Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda}, Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

实验中改变空气的流量以改变 Re 准数的值。根据定性温度（空气进、出口温度的算术平均值）计算对应的 Pr 准数值。同时，由牛顿冷却定律，求出不同流速下的传热膜系数 α 值。进而算得 Nu 准数值。

牛顿冷却定律：

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta t_m$$

式中：

α —传热膜系数， $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ ；

Q —传热量， $[W]$ ；

A —总传热面积， $[m^2]$ ；

Δt_m —管壁温度与管内流体温度的对数平均温差， $[^\circ C]$ 。

传热量 Q 可由下式求得：

$$Q = W \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) / 3600 = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) / 3600$$

式中：

W —质量流量， $[kg/h]$ ；

C_p —流体定压比热， $[J/kg \cdot ^\circ C]$ ；

t_1 、 t_2 —流体进、出口温度， $[^\circ C]$ ；

ρ —定性温度下流体密度， $[kg/m^3]$ ；

V —流体体积流量, $[m^3/s]$ 。

二、实验设备流程:

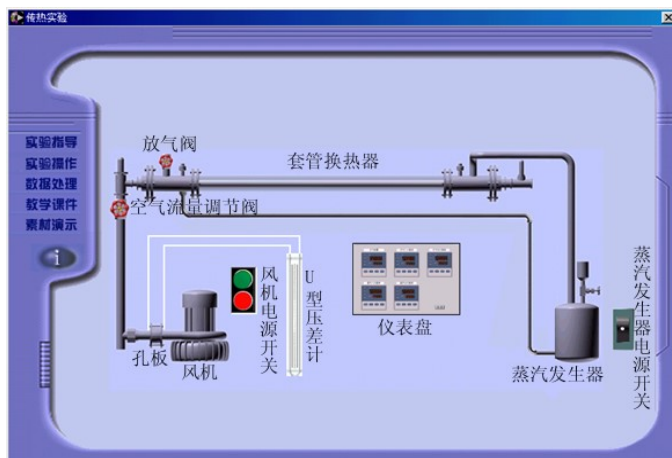
本装置流程如下图所示, 空气经由风机, U 型压差计, 进入换热器内管, 并与套管环隙中蒸汽换热。空气流量可用流量控制阀调节。

蒸汽由蒸汽发生器上升进入套管环隙, 与内管中空气换热。放气阀门用于排放不凝性气体。在铜管之前设有一定长度的稳定段, 是为消除端效应。铜管两端用塑料管与管路相连, 是为消除热应力。

本实验装置空气走内管, 蒸汽走环隙 (玻璃管)。

空气进、出口温度和管壁温度分别由铂电阻 (Pt100) 测得。测量空气进、出口温度的铂电阻置于进、出口的管中心。测量管壁温度的铂电阻用导热绝缘胶固定在内管外壁两端。孔板流量计的压差由 U 型压差计测得。

本实验蒸汽发生器由不锈钢制成, 安有玻璃液位计。发生器加热功率为 1.5kw。



设备参数:

孔板流量计:

$$\text{流量计算关联式: } V=4.49 \bullet R^{0.5}$$

式中:

R ——孔板压差, $[mmH_2O]$

V ——空气流量, $[m^3/h]$

换热套管:

套管外管为玻璃管, 内管为黄铜管。

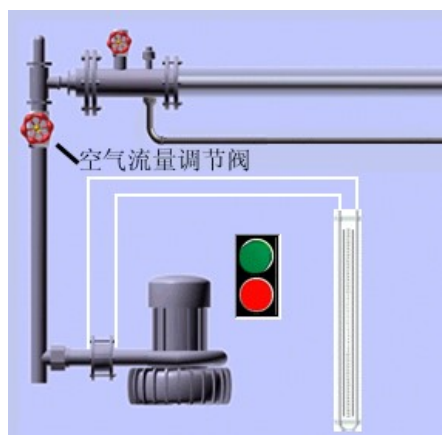
套管有效长度: 1.25m, 内管内径: 0.022m

三、实验操作:

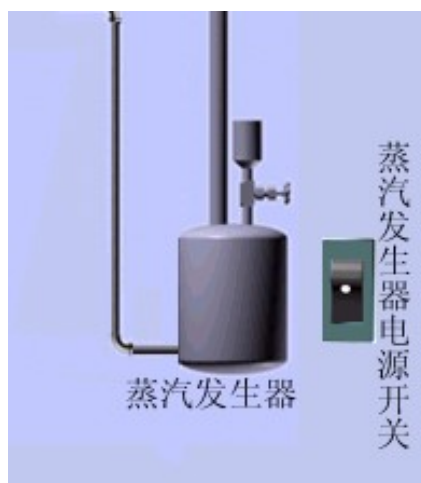
第一步: 启动风机



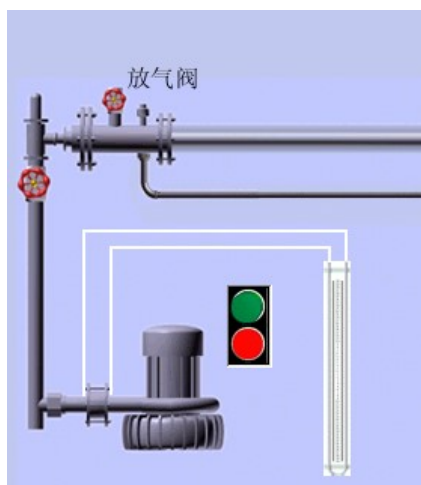
点击电源开关的绿色按钮，启动风机，风机为换热器的管程提供空气。
第二步：打开空气流量调节阀



启动风机后，调节进空气流量调节阀至微开，这时换热器的管程中就有空气流动了。
第三步：打开蒸汽发生器

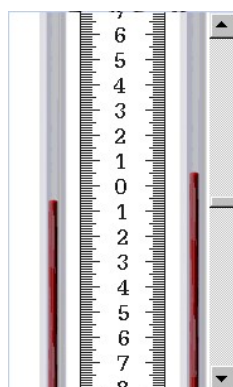


蒸汽发生器的开关在蒸汽发生器的右侧。鼠标左键单击开关，这时蒸汽发生器就通电开始加热，并向换热器的壳程中供汽。
第四步：打开放汽阀



打开放气阀，排出残余的不凝气体，使在换热器壳程中的蒸汽流动通畅。
第五步：读取空气流量

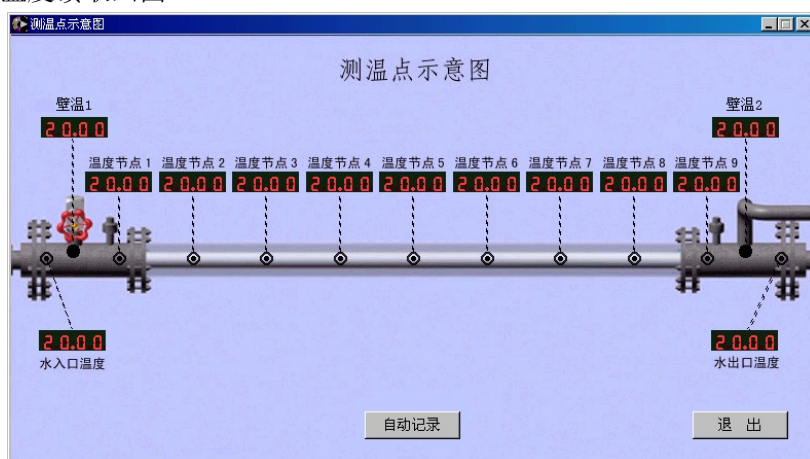
在图中点击孔板流量计的压差计出现读数画面。读取压差计读数。经过换算可得空气的流量。



第六步：读取温度

在换热管或者测温仪上点击会出现温度读数画面。

读取各处温度数值。其中温度节点 1-9 的温度为观察温度分布用，在数据处理中用不到。蒸汽进出口及空气进出口的温度需要记录。按自动记录可由计算机自动记录实验数据。按退出按钮关闭温度读取画面。



第七步：记录多组数据

改变空气流量调节阀开度，重复以上步骤，读取 8~10 组数据。

实验结束后，先停蒸汽发生器，再停空气。

注意事项：

(1)、学校的设备一般比较陈旧，都是需要用电为差压计测量电流然后计算温度的，此套设备比较先进，采用了数字显示仪表直接显示温度。

(2)、关于排放不凝气：如果不打开放气阀，理论上套管内的压力应该不断增大，最后爆炸，实际上由于套管的密封程度不是很好，会漏气，所以压力不会升高很多，基本可以忽略。另外不凝气的影响在实际是实验中并不是很大，在仿真实验中为了说明做了夸大。

(3) 蒸汽发生器：关于蒸汽发生器的控制和安全问题做了简化。

(4) 传热实验有两个流程，另一个管内的介质为水，原理一样，只是流程稍有不同。

四、数据处理：

第一步：原始数据记录

原始数据页如图所示，通过该页能在数据处理中输入、编辑原始数据。



第二步：数据计算



如果要使用“自动计算”功能，在相应的计算结果页点击“自动计算”即可，如上图所示。数据即可自动计算并自动填入数据库。

使用手动计算，需要的设备参数，可参见设备参数页。

第三步：关联式

自动计算完后，可在“关联式”点击“自动关联”按钮自动给出准数关联式（即给出图中的 0.000 及 0.00 处的数值）。



实验六 精馏实验

一、实验原理

1、在板式蒸馏塔中，混合液的蒸汽逐板上升，回流液逐板下降，气液两相在塔板上接触，实现传质、传热过程而达到一定程度分离的目的。如果在每层塔板上，上升的蒸汽与下降的液体处于平衡状态，则该塔板称为理论塔板。然而在实际操作过程中由于接触时间有限，气液两相不可能达到平衡，即实际塔板的分离效果达不到理论塔板的作用。因此，完成一定的分离任务，精馏塔所需的实际塔板数总是比理论塔板数多。

对于双组分混合液的蒸馏，若已知汽液平衡数据，测得塔顶流出液组成 X_d 、釜残液组成 X_w ，液料组成 X_f 及回流比 R 和进料状态，就可用图解法在 $y-x$ 图上，或用其他方法求出理论塔板数 N_t 。精馏塔的全塔效率 E_t 为理论塔板数与实际塔板数 N 之比，即：

$$E_t = N_t / N$$

影响塔板效率的因素很多，大致可归结为：流体的物理性质（如粘度、密度、相对挥发度和表面张力等）、塔板结构以及塔的操作条件等。由于影响塔板效率的因素相当复杂，目前塔板效率仍以实验测定给出。

2、精馏塔的单板效率 E_m 可以根据气相（或液相）通过测定塔板的浓度变化进行计算。

若以液相浓度变化计算，则为：

$$E_{mv} = (X_{n-1} - X_n) / (X_{n-1} - X_n^*)$$

若以气相浓度变化计算，则为：

$$E_{mv} = (Y_n - Y_{n+1}) / (Y_n^* - Y_{n+1})$$

式中：

X_{n-1} -----第 $n-1$ 块板下降的液体组成，摩尔分率；

X_n -----第 n 块板下降的液体组成，摩尔分率；

X_n^* -----第 n 块板上与升蒸汽 Y_n 相平衡的液相组成，摩尔分率；

Y_{n+1} -----第 $n+1$ 块板上升蒸汽组成，摩尔分率；

Y_n -----第 n 块板上升蒸汽组成，摩尔分率；

Y_n^* -----第 n 块板上与下降液体 X_n 相平衡的气相组成，摩尔分率。

在实验过程中，只要测得相邻两块板的液相（或气相）组成，依据相平衡关系，按上述两式即可求得单板效率 E_m 。

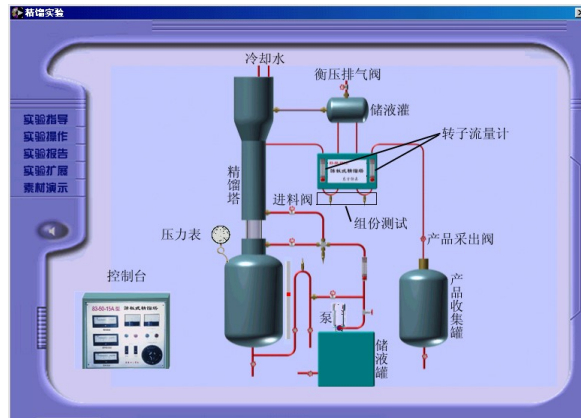
二、实验设备及流程简介

(1) 精馏塔-----精馏塔采用筛板结构，塔身用直径 $\Phi 57 \times 3.5 \text{mm}$ 的不锈钢管制成，设有两个进料口，共 15 块塔板，塔板用厚度 1mm 的不锈钢板，板间距为 10cm；板上开孔率为 4%，孔径是 2mm，孔数为 21；孔按正三角形排列；降液管为 $\Phi 14 \times 2 \text{mm}$ 的不锈钢管；堰高是 10mm；在塔顶和灵敏板的塔段中装有 WZG-001 微型铜电阻感温计各一支，并由仪表柜的 XCZ-102 温度指示仪加以显示。

(2) 蒸馏釜为 $\Phi 250 \times 340 \times 3 \text{mm}$ 不锈钢材质立式结构，用二支 1KW 的 SRY-2-1 型电热棒进行加热，其中一支为恒温加热，另一支则用自耦变压器调节控制，并由仪表柜上的电压、电流表加以显示。釜上有温度计和压力计，以测量釜内的温度和压力。

(3) 冷凝器-----采用不锈钢蛇管式冷凝器，蛇管规格为 $\Phi 14 \times 2 \text{mm}$ 、长 2500mm，用自来水作冷却剂，冷凝器上方装有排气悬塞。

(4) 产品贮槽---产品贮槽规格为 $\Phi 250 \times 340 \times 3 \text{mm}$ ，不锈钢材料制造，贮槽上方设有观察罩，以观察产品流动情况。



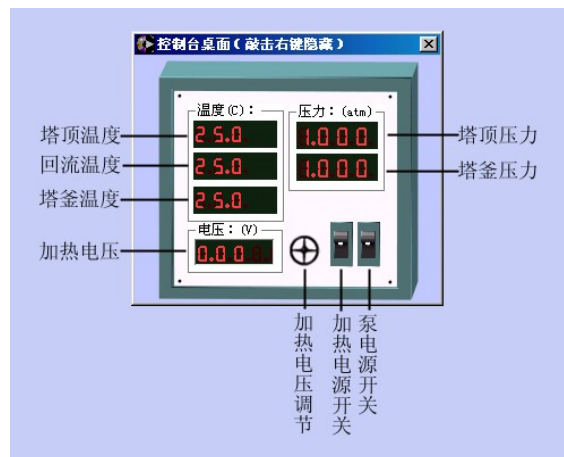
本实验进料的溶液为乙醇—水体系，其中乙醇占 20%（摩尔百分比）。

溶液在储液罐中储备，用泵对塔进行进料，塔釜用加热器加热，电热器的电压由控制台来调整。

塔釜的蒸汽到塔顶后，由塔顶的冷却器进行冷却（在仿真实验中设置为常开，无需开关冷却水阀），冷却后的冷凝液进入储液罐，用回流的阀门及产品收集罐的阀门开度来控制回流比。

产品进入产品收集罐。

塔的压力由衡压调节阀来调节（在塔压高的时候可打开阀门进行降压，一般塔压控制在 1.2atm 以下。）



上图是控制台的画面。图中标出了各种仪表及开关的名称。

二、实验步骤

第一步：全回流进料。

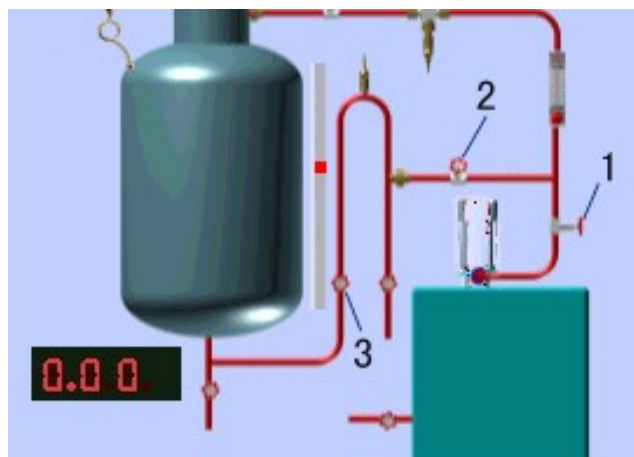
1、打开泵开关。

在控制台上用鼠标左键点击泵电源开关的上端（带白点的一端），打开泵电源开关。



2、打通进料的管线，

依次打开阀门 1、2、3，向塔釜进料，进料至液位计的红点（正常液位标志）位置，完成进料。



第二步：塔釜加热升温

全回流进料完成后，开始加热，如图所示：



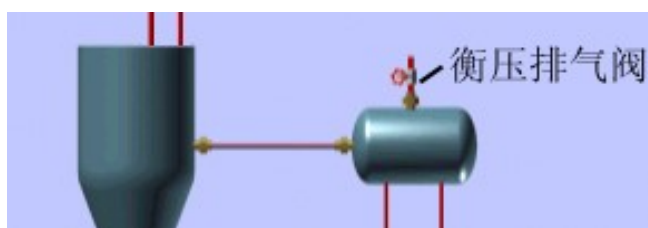
首先点击加热电源开关上端，打开加热电源开关。

用鼠标点击加热电压调节手柄，左键增加电压，每点击一次加 5 伏，右键减少电压，每点击一次减 5 伏。或者在电压显示栏内用左键点击一下，输入所需的电压（0~350 伏），然后在控制台窗口的空白处左键点击即可完成输入。

第三步：建立全回流

1、注意衡压

加热开始后，回流开始前，应注意塔釜温度和塔顶压力的变化。当塔顶压力超过一个大气压很多时（例如 0.1atm 以上），应打开衡压排气阀进行排气降压。

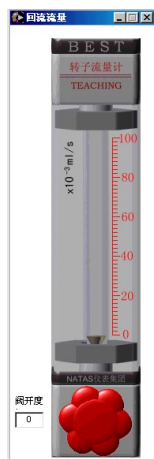


此时应密切注视塔顶压力，当降到一个大气压时，应马上关闭。

注意：回流开始以后就不能再打开衡压排气阀，否则会影响结果

2、塔顶的冷却水默认全开，当塔釜温度达到 91 度左右时，开始有冷凝液出现（在塔顶及储

液罐之间有细线闪烁)。此时鼠标左键点击回流支路上的转子流量计，如图所示：



鼠标左键点击转子流量计上的流量调节旋钮，左键增加，右键减少。也可以在开度显示框内填入所需的开度（0~100，百分比），然后在流量计上左键点击即可。调节阀的开度到100，开始全回流。

第四步：读取全回流数据

鼠标左键点击“组份测试”可看到组份含量（真实实验用仪器检测，此处简化），如图所示。开始全回流10分钟以上，组份基本稳定达到正常值。

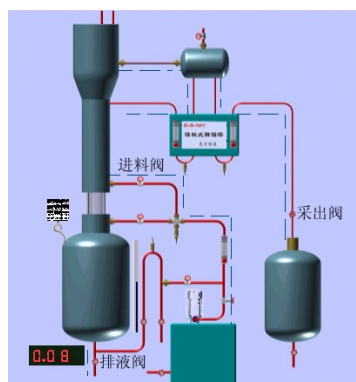


当组份稳定以后，鼠标左键点击主窗口左侧菜单“数据处理”，在“原始数据”页填入数据（方法详见标准数据库操作方法）。

也可以使用自动记录功能进行记录。

第五步：逐步进料，开始部分回流。

逐渐打开塔中部的进料阀和塔底的排液阀以及产品采出阀，注意维持塔的物质平衡、塔釜液位和回流比。



第六步：记录部分回流数据

请参考记录全回流数据部分，将数据处理中的数据填好。

注意事项：

- (1) 简化掉了配液过程，原料液直接装在原料罐内
- (2) 加热电源开关由两个简化为一个
- (3) 加热开始后，回流开始前，应注意塔釜温度和塔顶压力的变化。当塔顶压力超过一个大气压很多时（例如 0.1atm 以上），应打开衡压排气阀进行排气降压。此时应密切关注塔顶压力，当降到一个大气压时，应马上关闭。注意：回流开始以后就不能再打开衡压排气阀，否则会影响结果。
- (4) 对于产品的检验，有些学校使用比重计，有些学校使用折光仪，各不相同，仿真实验中为了简化我们直接给出了产品的摩尔分率。

三、数据处理

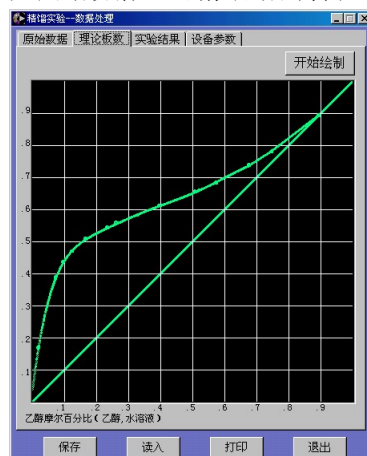
全回流和部分回流的数据处理基本相同。

在原始数据处可看到自动记录的数据（或手工记录后填写的数据）。



在计算结果项处可看到自动计算的结果，也可以把手工计算的结果填入数据栏中（可由此数据画出特性曲线）。

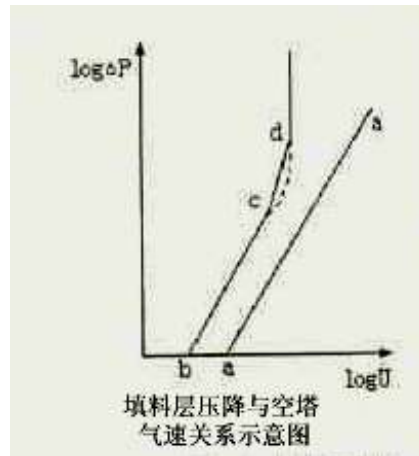
在理论板数项中可由计算结果中的数据画出精馏塔的特性曲线，



实验七 吸收实验

一、实验原理

1、填料塔流体力学特性：



气体通过干填料层时，流体流动引起的压降和湍流流动引起的压降规律相一致。

在双对数坐标系中用压降对气速作图得到一条斜率为 1.8~2 的直线（图中 aa 线）。而有喷淋量时，在低气速下（C 点以前）压降也比例于气速的 1.8~2 次幂，但大于同一气速下干填料的压降（图中 bc 段）。随气速增加，出现载点（图中 c 点），持液量开始增大，压降-气速线向上弯曲，斜率变大，（图中 cd 段）。到液泛点（图中 d 点）后在几乎不变的气速下，压降急剧上升。

测定填料塔的压降和液泛速度，是为了计算填料塔所需动力消耗和确定填料塔的适宜制作范围，选择合适的气液负荷。

2、传质实验：

填料塔与板式塔内气液两相的接触情况有着很大的不同。在板式塔中，两相接触在各块塔板上进行，因此接触是不连续的。但在填料塔中，两相接触是连续地在填料表面上进行，需计算的是完成一定吸收任务所需填料的高度。填料层高度计算方法有传质系数法、传质单元法以及等板高度法等。总体积传质系数 K_{Ya} 是单位填料体积、单位时间吸收的溶质量。它是反映填料吸收塔性能的主要参数，是设计填料高度的重要数据。

本实验是用水吸收空气-氨混合气体中的氨。混合气体中氨的浓度很低。吸收所得的溶液浓度也不高。气液两相的平衡关系可以认为服从亨利定律（即平衡线在 x-y 坐标系为直线）。故可用对数平均浓度差法计算填料层传质平均推动力，相应的传质速率方程式为：

$$G_A = K_{Ya} \cdot V_p \cdot \Delta Y_m$$

所以
$$K_{Ya} = G_A / (V_p \cdot \Delta Y_m)$$

其中

$$\Delta Y_m = \frac{(Y_1 - Y_{e1}) - (Y_3 - Y_{e2})}{\ln \frac{Y_1 - Y_{e1}}{Y_3 - Y_{e2}}}$$

式中

G_A —单位时间内氨的吸收量[kmol/h]。

K_{Ya} —总体积传质系数[kmol/m³·h]。

V_p —填料层体积[m³]。

ΔY_m —气相对数平均浓度差。

Y_1 —气体进塔时的摩尔比。

Y_{e1} —与出塔液体相平衡的气相摩尔比。

Y_2 —气体出塔时的摩尔比。

Y_{e2} —与进塔液体相平衡的气相摩尔比。

3、计算方法、公式：

(1) 氨液相浓度小于 5% 时气液两相的平衡关系：

温度 [°C]:	0	10	20	25	30	40
亨利系数 E [atm]:	0.293	0.502	0.778	0.947	1.250	1.938

(2) 总体积传质系数 K_{Ya} 及气相总传质单元高度 H_{og} 整理步骤

$$K_{Ya} = G_A / V_p \cdot \Delta Y_m$$

a、标准状态下的空气流量 V_0 ：

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{T_0}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{P_1 \cdot P_2}{T_1 \cdot T_2}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中：

V_1 ——空气转子流量计示值 $[\text{m}^3/\text{h}]$

T_0 、 P_0 ——标准状态下的空气的温度和压强

T_1 、 P_1 ——标定状态下的空气的温度和压强

T_2 、 P_2 ——使用状态下的空气的温度和压强

b、标准状态下的氨气流量 V_0'

$$V_0' = V_1' \cdot \frac{T_0}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{01} \cdot P_1 \cdot P_2}{\rho_{02} \cdot T_1 \cdot T_2}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中：

V_1' ——氨气转子流量计示值 $[\text{m}^3/\text{h}]$

ρ_{01} ——标准状态下氨气的密度 1.293 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

ρ_{02} ——标定状态下氨气的密度 0.7810 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

如果氨气中纯氨为 98%，则纯氨在标准状态下的流量 V_0'' 为：

$$V_0'' = 0.98 \cdot V_0'$$

c、惰性气体的摩尔流量 G ：

$$G = V_0 / 22.4$$

d、单位时间氨的吸收量 G_A ：

$$G_A = G \cdot (Y_1 - Y_2)$$

e、进气浓度 Y_1 ：

$$Y_1 = \frac{n_1}{n_2}$$

f、尾气浓度 Y_2 ：

$$Y_2 = \frac{N_s \cdot V_s}{V \cdot \frac{T_0}{T} / 22.4}$$

式中:

- N_s ——加入分析盒中的硫酸当量浓度 [N]
- V_s ——加入分析盒中的硫酸溶液体积 [ml]
- V ——湿式气体流量计所测得的空气体积 [ml]
- T_0 ——标准状态下的空气温度 [K]
- T ——空气流经湿式气体流量计时的温度 [K]

g、对数平均浓度差 $(\Delta Y)_m$:

$$(\Delta Y)_m = \frac{(Y - Y_e)_1 - (Y - Y_e)_2}{\ln \frac{(Y - Y_e)_1}{(Y - Y_e)_2}}$$

$$Y_{e2} = 0$$

$$Y_{e1} = m x_1^*$$

$$P = \text{大气压} + \text{塔顶表压} + (\text{填料层压差}) / 2$$

$$m = E / P$$

$$x_1 = G_A / L_s$$

式中:

E ——亨利常数

L_s ——单位时间喷淋水量 [kmol / h]

P ——系统总压强

h、气相总传质单元高度:

$$H_{OG} = G' / K_{Ya}$$

式中:

G' ——混合体气通过塔截面的摩尔流速

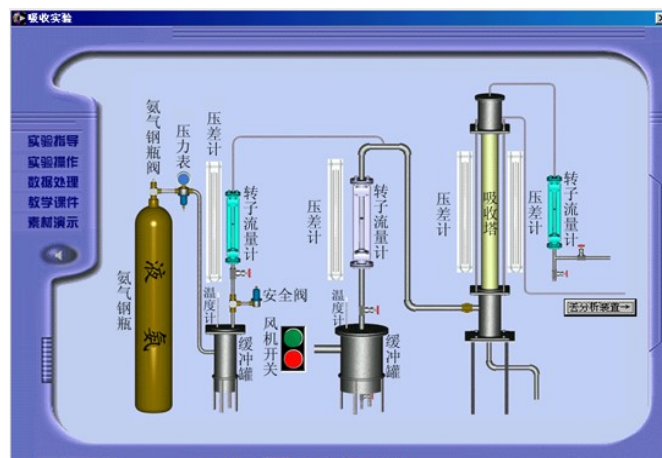
二、实验设备及流程

设备参数:

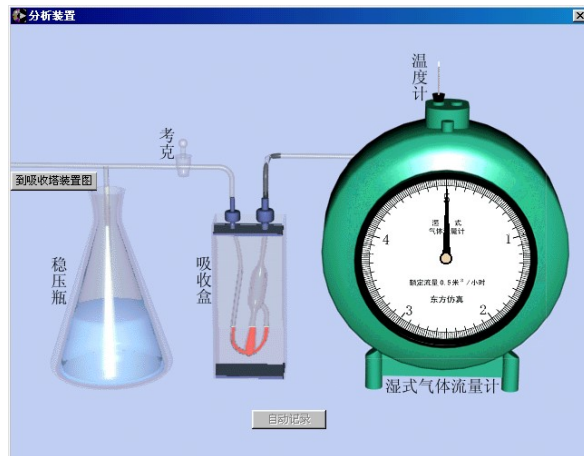
基本数据: 塔径 $\Phi 0.10\text{m}$, 填料层高 0.75m

填料参数: $12 \times 12 \times 1.3[\text{mm}]$ 瓷拉西环, $a_1 = 403[\text{m}^{-1}]$, $\varepsilon = 0.764$, $a_1/\varepsilon^3 = 903[\text{m}^{-1}]$

尾气分析所用硫酸体积: 1ml , 浓度: 0.00968N



上图是吸收实验装置界面, 氮气钢瓶来的氨气经缓冲罐, 转子流量计与从风机来经缓冲罐、转子流量计的空气汇合, 进入吸收塔的底部, 吸收剂(水)从吸收塔的上部进入, 二者在吸收塔内逆向流动进行传质。

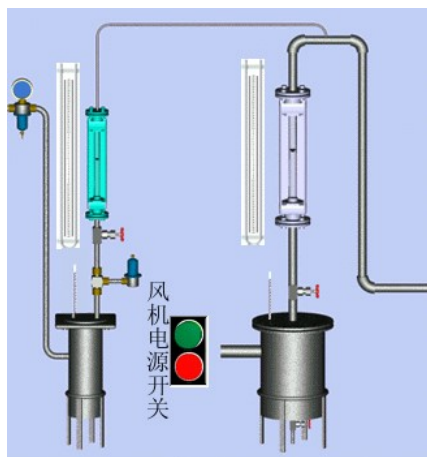


从塔顶出来的尾气进到分析装置进行分析，分析装置由稳压瓶、吸收盒及湿式气体流量计组成。稳压瓶是防止压力过高的装置，吸收盒内放置一定体积的稀硫酸作为吸收液，用甲基红作为指示剂，当吸收液到达终点时，指示剂由红色变为黄色。

三、实验步骤

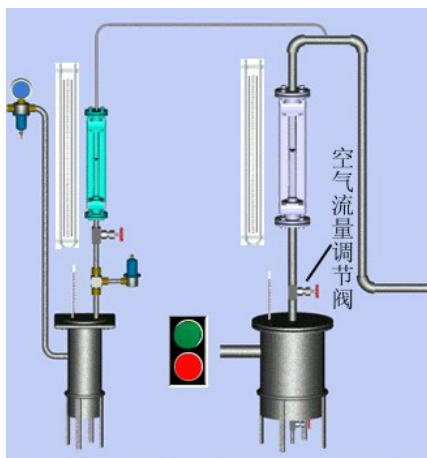
第一步：启动风机，开始送风

点击电源开关的绿色按钮接通电源，就可以启动风机，并开始工作。



第二步：调节空气流量，测量干塔压降

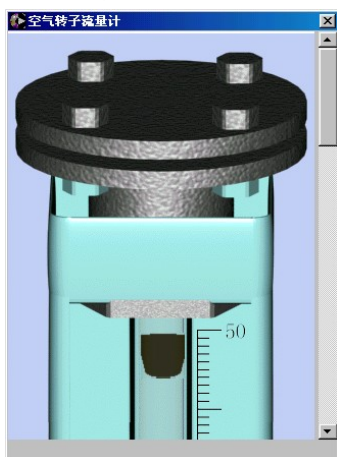
1、调节空气流量。



打开空气流量调节阀，调节空气流量。由于气体流量与气体状态有关，所以每个气体流量计前都有压差计（测表压）和温度计，和流量计共同使用，转换成标准状态下的流量进行计算和比较。将空气流量调节阀的开度调节到100，稍许等待，进行下一步。

2、读取数据

鼠标左键点击空气的转子流量计，读取空气的流量，如下图所示：

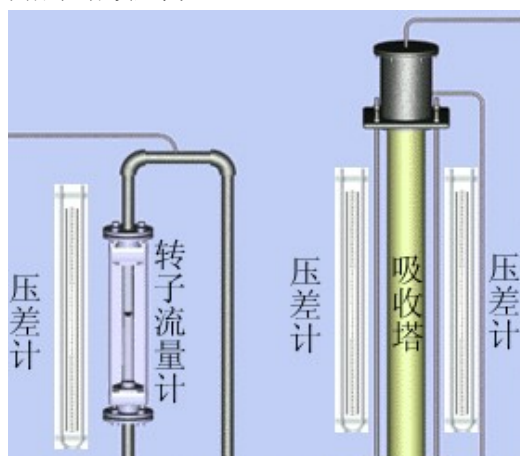


鼠标左键点击空气的压差计，读取空气的当前流量下的压差。

鼠标左键点击空气缓冲罐上的温度计，读取温度。

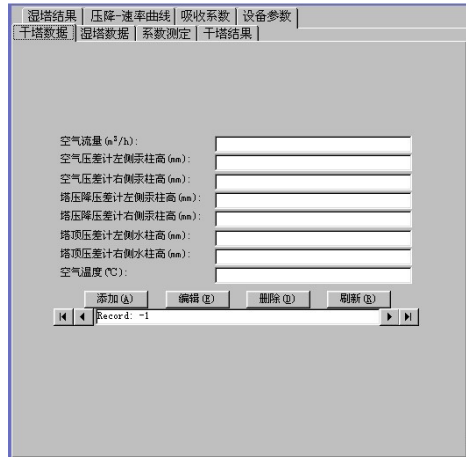


鼠标左键点击吸收塔两侧的压差计分别读取塔的压降和塔顶的压力，左边的压差计指示塔的压降，右边的压差计指示塔顶压力。



3、记录数据

鼠标左键点击实验主画面左边菜单中的“数据处理”，可调出数据处理窗口，点击干塔数据页，按标准数据库操作方法在各项目栏中填入所读取的数据，也可以使用自动记录功能进行自动记录。



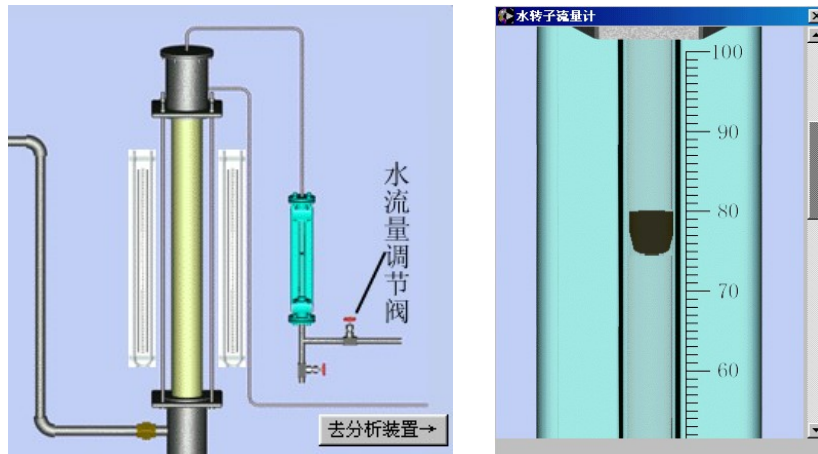
第三步：进水，测量湿塔压降

1、降低空气流量。

干塔压降测量完毕后，在进水之前，应减少空气流量，因为如果空气流量很大，会引起强烈的液泛，有可能损坏填料。

2、进水，湿润填料。

打开水流量调节阀，调节进水的流量（建议 80 l/h）。然后慢慢增大空气流量直到液泛，鼠标左键点击塔身可看到塔内的状况。液泛一段时间使填料表面充分润湿，然后减小气量到较少的水平。



注意：本实验是在一定的喷淋量下测量塔的压降，所以水的流量应不变。在以后实验过程中不要改变水流量调节阀的开度。

3、读取数据

测量湿塔的压降与测量干塔的压降所读取的数据基本一致，参见“测量干塔压降”的“读取数据”，但只多了一项水的流量，点击水的转子流量计即可读取。

逐渐加大空气流量调节阀的开度，增加空气流量，多读取几组塔的压降数据。同时注意塔内的气液接触状况，并注意填料层的压降变化幅度。液泛后填料层的压降在气速增加很小的情况下明显上升，此时再取 1~2 个点就可以了，不要使气速过分超过泛点。

第四步：传质系数测定

建议的实验条件：

水流量：80 l/h 空气流量：20 m³/h 氨气流量：0.5 m³/h

以上为建议实验条件，不一定非要采用，但总体上要注意气量和水量不要太大，氨气浓度不要过高，否则引起数据严重偏离。

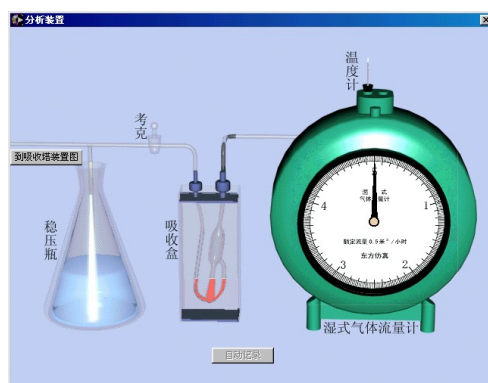
1、通入氨气

将鼠标移动到钢瓶阀上，鼠标会变成扳手形状，此时左键点击打开，右键点击关闭（不能在此调节流量）。氨气流量计前也有压差计和温度计，用氨气调节阀调节氨气流量（实验建议流量: $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ）。

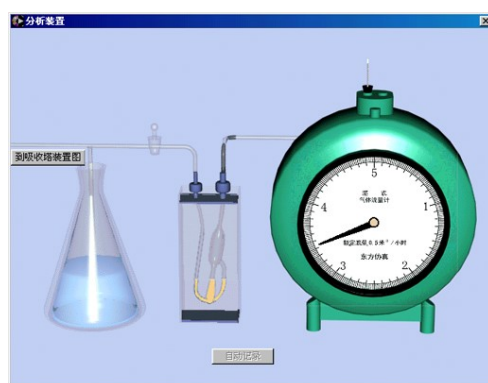


2、进行尾气分析

通入氨气后，鼠标左键点击实验主窗口右边的命令键“去分析装置”，进入分析装置画面。



打开考克，让尾气流过吸收盒，同时湿式气体流量计开始计量体积。当吸收盒内的指示剂由红色变成黄色时，立即关闭考克，记下湿式气体流量计转过的体积和气体的温度。



3、读取数据

按照数据处理的要求读取各项数值，按标准数据库操作方法在各项目栏中填入所读取的数据，也可以用自动记录功能记录数据。

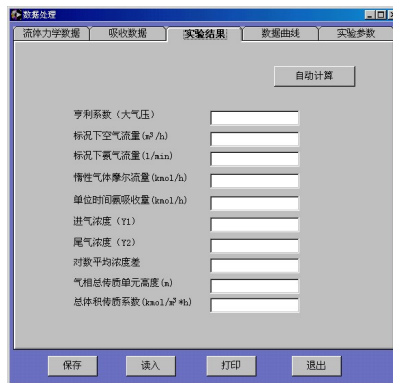


四、数据处理

在流体力学和吸收数据项可看到自动记录的数据（或手工记录后填写的数据）。



在实验结果项（吸收系数）处可以看到自动计算的结果（点击键可自动计算），也可以把手工计算的结果填入数据栏中。



在数据曲线项可自动绘制出压降和空气速率的曲线。在完成计算后，点击键可自动绘制曲线。

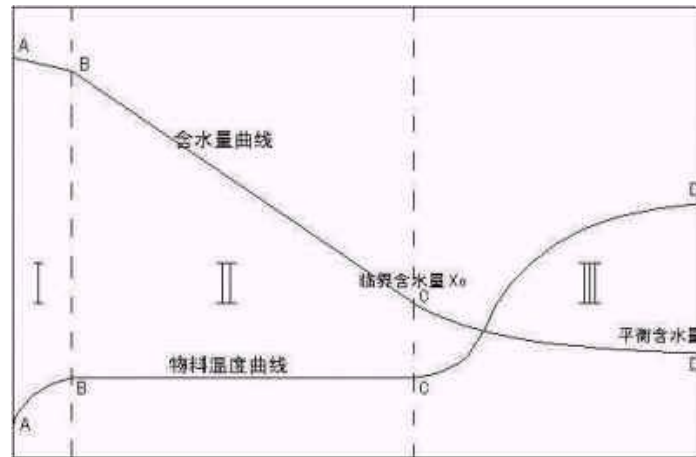


实验八 干燥实验

一、实验原理

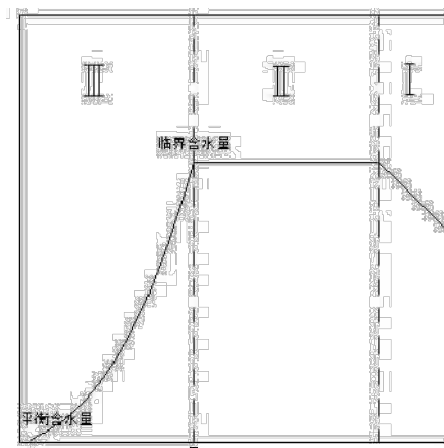
1、干燥特性曲线：

若将湿物料于一定的干燥条件下，例如一定的温度、湿度和速度的空气流中，测定被干燥物料的重量和温度随时间的变化关系，则得下图所示曲线，即物料含水量-时间曲线及物料温度-时间曲线。干燥过程分为三个阶段：I、物料预热阶段；II、恒速干燥阶段和III、降速干燥阶段，图中 AB 段处于预热阶段，空气中部分热量用来加热物料，故物料含水量随时间变化不大。在随后的第 II 阶段 BC，由于物料表面存有自由水分，物料表面温度等于空气湿球温度 t_w ，传入的热量只用来蒸发物料表面的水分，物料含水量随时间成比例减少，干燥速率恒定且较大。



到了第III阶段，物料中含水量减少到某一临界含水量时，由于物料内部水分的扩散慢于物料表面的蒸发，不足以维持物料表面保持润湿，则物料表面将形成干区，干燥速率开始降低，含水量越小，速率越慢，干燥曲线 CD 逐渐达到平衡含水量 X^* 而终止。在降速阶段，随着水分汽化量的减少，传入的湿热较汽化带出的潜热为多，热空气中部分热量用于加热物料。物料温度开始上升，II与III交点处的含水量称为物料的临界含水量 X_0 ，在上图中物料含水量曲线对时间的斜率就是干燥速率 u 。

若干燥速率 u 对物料含水量 x 进行标绘可得如图所示的干燥速率曲线。



干燥速率曲线只能通过实验测得，因为干燥速率不仅取决于空气的性质和操作条件，而且还受物料性质结构以及所含水份性质的影响。

干燥速率 u 为单位时间在单位干燥面积上汽化的水分量 W ，用微分式表示为：

$$u = \frac{dw}{Ad\tau} [kg / m^2 \cdot s]$$

式中:

u —干燥速率 $[\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}]$

A —干燥表面积 $[\text{m}^2]$

$d\tau$ —相应的干燥时间 $[\text{s}]$

dw —汽化的水分量 $[\text{kg}]$ 。

本实验装置近似于工业上的厢式洞道式干燥器, 计算的是达到一定干燥要求所需时间。而工业上连续操作的干燥器如气流干燥器、沸腾床干燥器。物料连续进入, 干燥条件随过程不断变化, 往往计算的是完成一定处理能力、一定干燥要求所需设备尺寸, 同样需要测定干燥速率曲线, 只是测定的方法和实验装置不同。

图的横座标 x 为相应于某干燥速率下的物料的平均含水量

$$x_{\text{平}} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} = \left[\frac{Gs_i + Gs_{i+1}}{2G_c} \right] - 1$$

式中:

$x_{\text{平}}$ —某干燥速率下湿物料的平均含水量 $[\text{kg}]$

Gs_i, Gs_{i+1} —分别为 $\Delta\tau$ 时间间隔内开始和终了时湿物料重量 $[\text{kg}]$ 。

G_c —湿物料中绝对干物料的重量 $[\text{kg}]$ 。

2、传质系数的求取

(1) 恒速阶段: 恒速阶段的干燥速率 u 仅由外部干燥条件决定, 物料表面温度近于空气湿球温度 t_w 。在恒定的干燥条件下, 物料表面与空气之间的传热和传质速率分别用于下面式子表示:

$$\frac{dQ}{Ad\tau} = \alpha(t - t_w)$$
$$\frac{dw}{Ad\tau} = K_H(H_w - H)$$

式中:

Q —空气传给物料的热量 $[\text{KJ}]$;

τ —干燥时间 $[\text{S}]$

A —干燥面积 $[\text{m}^2]$

α —空气至物料表面的传热膜系数 $[\text{KW}/\text{m}^2\cdot\text{k}]$

t —空气温度 $[\text{k}]$;

t_w —湿物料表面温度 (即空气的湿球温度) $[\text{K}]$;

W —由物料汽化至空气中的水分 $[\text{kg}]$;

K_H —以湿度差为推动力的传质系数 $[\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}\Delta\text{H}]$;

H —空气的湿度 $[\text{kg 水}/\text{kg 干空气}]$;

(2) 降速阶段: 降速干燥阶段中干燥速率曲线的形状随物料内部结构以及所含水分性质不同而异, 因而干燥曲线只能通过实验得到, 降速阶段干燥时间的计算可以根据速率曲线数据图解求得, 当降速阶段的干燥速率近似看作与物料的自由含水量 $(x-x^*)$ 成正比时干燥速率曲线可简化为直线。

即为: $u=k_x(x-x^*)$

$k_x=u/(x-x^*)$

式中:

k_x —以含水量差 Δx 为推动力的比例系数 $[\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\Delta x]$;

u —物料含水量为 x 时的干燥速率 $[\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{s}]$;

x —在 τ 时的物料含水量 [kg/kg 绝干物料];

x^* —物料的平衡含水量 [kg/kg 绝干物料];

由实验得到的物料临界含水量 x_0 对于干燥装置的设计十分重要，不仅对于计算干燥速率，干燥时间以及干燥器的尺寸必不可少，而且由于影响二个干燥阶段干燥速率的因素不同因而确定 x_0 值对于如何强化具体干燥过程也有重要意义。

二、实验装置及流程简介



主要设备规格:

孔板流量计: 管径 $D=106\text{mm}$, 孔径 $d=68.46\text{mm}$, 孔流系数 $C_0=0.6655$

干燥室尺寸: $0.15[\text{m}]\times 0.20[\text{m}]$

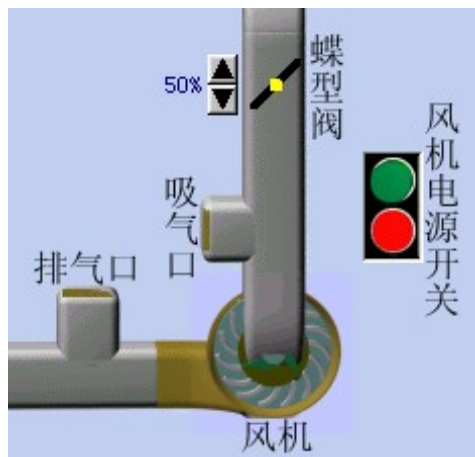
实验流程:

空气由风机，经孔板流量计，电加热器送入干燥室，然后返回风机，循环使用，由吸气口吸入一部分空气，由排气口排出一部分空气，以保持系统湿度恒定，由蝶型阀控制空气流量。电加热器由继电器控制，使进入干燥室空气的温度恒定，干燥室前方装有干、湿球温度计，风机出口及干燥室后也装有温度计，都用以确定干燥室的空气状态。

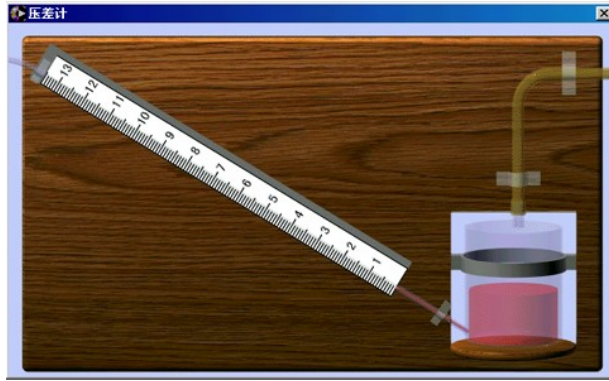
三、实验步骤

第一步：启动风机

鼠标左键点击风机电源开关的绿色键，接通电源，启动风机。



鼠标左键点击斜管压差计可以看到放大的画面，然后可以调节蝶型阀的开度的来调节风量。



注意：禁止在启动风机以前加热，这样会烧坏加热器

第二步：开始加热

开启风机后，鼠标左键点击继电器的开关，可以看到开始加热，温度升高。可以用温度调节按钮调节加热温度，左边的键增加，右边的减小。达到要求的温度后，继电器会自动保持给定的温度，然后进行下一步。

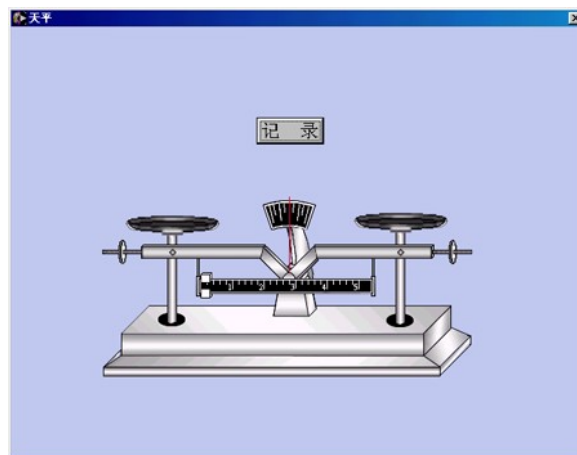


第三步：进行干燥实验

实验开始时，在温度达到要求后，干燥室内挂一张充分润湿的纸板，上面与天平的一个托盘下部相连，另一个托盘放砝码。先使天平平衡，然后减去一定质量的砝码，平衡被破坏，但随着纸片被热风干燥，质量减少，当干燥的水分质量与减去的砝码质量相同时，天平会恢复平衡，然后向另一端倾斜，这时记下所用的时间，就可以计算出干燥速率。不断减去砝码，记录时间就可以计算并描绘出干燥速率曲线。

真实的实验操作，应由三个人分工协作，一个人减砝码，一个人计时，一个人记录数据。为了在计算机上操作简便，作了简化，只需一个人点击一个按钮就可以完成三个人的工作，因此本实验的自动记录功能是打开的。

在实验主窗口干燥室的天平上点击鼠标左键，即可调出天平画面，如图所示：





实验中，第一次按 **记录** 键向干燥室内挂好纸片，这时天平会倾斜，待天平再次平衡后按 **记录** 键记录下时间同时自动减去 1 克砝码，天平再次倾斜，重复上述步骤。当单位计时超过 360 秒时，可结束实验，进入数据处理。

注意事项：

如果实验当中有一个数据的记录发生错误，按照实验的规程，所有数据作废，应该重新开始实验。

四、数据处理

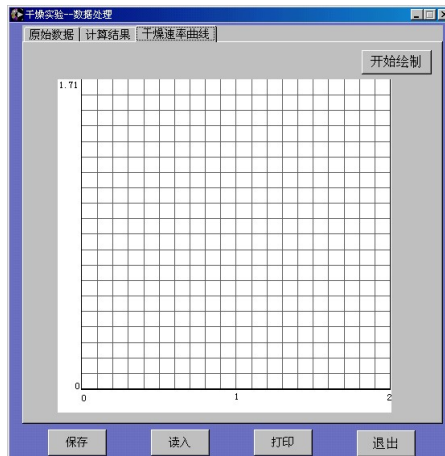
在原始数据项可看到自动记录下的数据。



在计算结果处可看到自动计算出的结果。



在特性曲线可看到干燥速率的曲线（点击 **开始绘制** 键可自动绘制出曲线）。



实验九 精馏实验（流程二）

一、实验原理

1、在板式蒸馏塔中，混合液的蒸汽逐板上升，回流液逐板下降，气液两相在塔板上接触，实现传质、传热过程而达到一定程度分离的目的。如果在每层塔板上，上升的蒸汽与下降的液体处于平衡状态，则该塔板称为理论塔板。然而在实际操作过程中由于接触时间有限，气液两相不可能达到平衡，即实际塔板的分离效果达不到理论塔板的作用。因此，完成一定的分离任务，精馏塔所需的实际塔板数总是比理论塔板数多。

对于双组分混合液的蒸馏，若已知汽液平衡数据，测得塔顶流出液组成 X_d 、釜残液组成 X_w ，液料组成 X_f 及回流比 R 和进料状态，就可用图解法在 $y-x$ 图上，或用其他方法求出理论塔板数 N_t 。精馏塔的全塔效率 E_t 为理论塔板数与实际塔板数 N 之比，即：

$$E_t = N_t / N$$

影响塔板效率的因素很多，大致可归结为：流体的物理性质（如粘度、密度、相对挥发度和表面张力等）、塔板结构以及塔的操作条件等。由于影响塔板效率的因素相当复杂，目前塔板效率仍以实验测定给出。

2、精馏塔的单板效率 E_m 可以根据气相（或液相）通过测定塔板的浓度变化进行计算。

若以液相浓度变化计算，则为：

$$E_{ml} = (X_{n-1} - X_n) / (X_{n-1} - X_n^*)$$

若以气相浓度变化计算，则为：

$$E_{mv} = (Y_n - Y_{n+1}) / (Y_n^* - Y_{n-1})$$

式中：

X_{n-1} -----第 $n-1$ 块板下降的液体组成，摩尔分率；

X_n -----第 n 块板下降的液体组成，摩尔分率；

X_n^* -----第 n 块板上与升蒸汽 Y_n 相平衡的液相组成，摩尔分率；

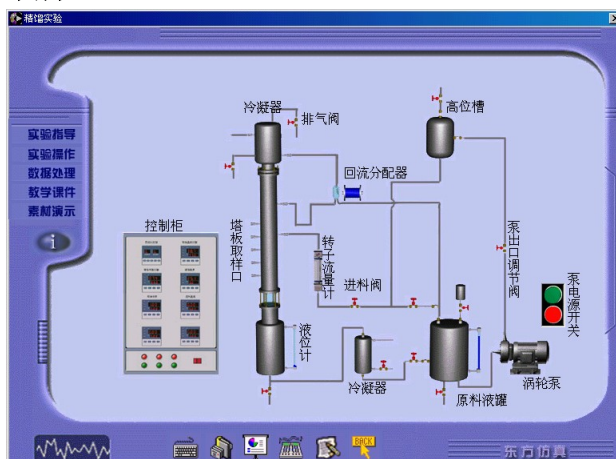
Y_{n+1} -----第 $n+1$ 块板上升蒸汽组成，摩尔分率；

Y_n -----第 n 块板上升蒸汽组成，摩尔分率；

Y_n^* -----第 n 块板上与下降液体 X_n 相平衡的气相组成，摩尔分率。

在实验过程中，只要测得相邻两块板的液相（或气相）组成，依据相平衡关系，按上述两式即可求得单板效率 E_m 。

二、实验设备及流程简介



(1) 精馏塔-----精馏塔采用筛板结构，塔身用直径 $\Phi 57 \times 3 \text{mm}$ 的不锈钢管制成，设有两个进料口，共 8 块塔板，塔板用厚度 1mm 的不锈钢板，板间距为 80mm；板上开孔率为 4%，孔径是 1.5mm，孔数为 43，孔间距为 6mm；孔按正三角形排列；降液管为 $\Phi 14 \times 2 \text{mm}$ 的不

锈钢管；堰高是 10mm，底隙高度为 4mm；在塔顶和灵敏板的塔段中装有 WZG-001 微型铜电阻感温计各一支，并由仪表柜的 XCZ-102 温度指示仪加以显示。

(2) 蒸馏釜为 $\Phi 108 \times 4 \times 400$ mm 不锈钢材质立式结构，用一支 1KW 的 SRY-2-1 型电热棒进行加热，一支 300w 的电热棒恒温加热，并由仪表柜上的电压、电流表加以显示。釜上有温度计和压力计，以测量釜内的温度和压力。

(3) 冷凝器----采用不锈钢蛇管式冷凝器，换热面积 0.7m^2 。管内走物料，管外走冷却水。

(4) 原料液罐----规格为 $\Phi 300 \times 350 \times 3$ mm，不锈钢材料制造，装有液面计，以便观察槽内料液量。

(5) 高位贮槽----为 $\Phi 300 \times 350 \times 3$ mm 不锈钢材料容器，顶部有放空管及与泵相连的入口管，下部有向塔供料的出口管。

(6) 原料泵：旋涡式水泵，型号为 20w—20，流量为 $0.072\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程为 20m。

本实验进料的溶液为乙醇—丙醇体系，其中乙醇占 30%（摩尔百分比）。

溶液在原料液罐中储备，用泵对塔进行进料，塔釜用电热器加热，电热器的电压由控制柜来调整。

塔釜的蒸汽到塔顶后，由塔顶的冷凝器进行冷却（在仿真实验中设置为常开，无需开关冷却水阀），冷却后的冷凝液进入储液罐，回流分配器来控制回流比。

塔的压力由衡压调节阀来调节（在塔压高的时候可打开阀门进行降压，一般塔压控制在 1.2atm 以下。）

三、实验步骤

第一步：全回流进料。

1、打开泵开关。

如图所示，首先点击控制柜上的总电源开关（控制柜下部右边的红色按钮），打开电源

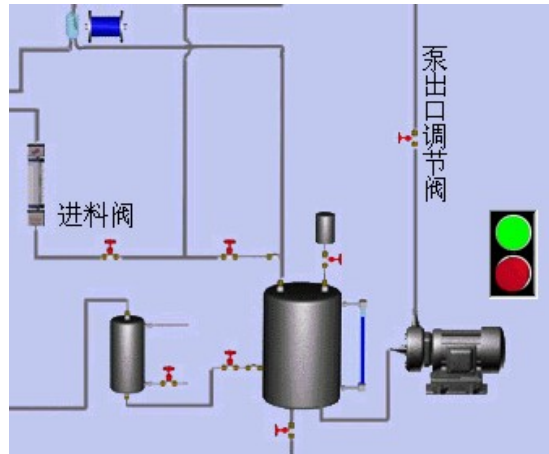


点击涡轮泵右上方电源开关的绿色按钮接通电源，涡轮泵开始工作。

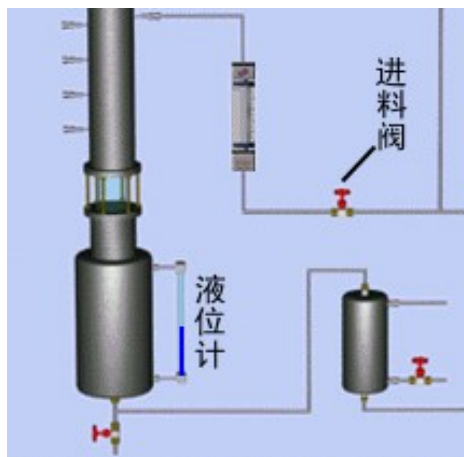


2、打通进料的管线，

开泵后依次点击调节阀和进料阀，在弹出的阀门调节窗口中调节泵出口调节阀和进料阀的开度为 100，开始全回流进料。如图所示：

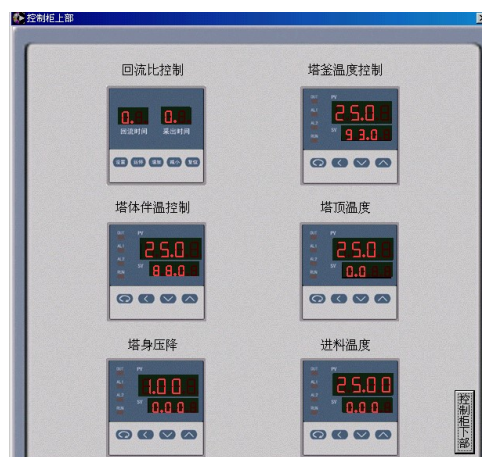


注意：由于灌塔时有延迟效应，所以在接近 1/2 左右就应关闭进料阀门，然后液面会稍有上升，如下图所示：



第二步：塔釜加热升温

全回流进料完成后，开始加热，鼠标左键点击画面左侧的控制柜，出现控制柜上部画面，如图所示：



控制柜上有显示精馏塔各参数的仪表，点击“回流比控制”下的仪表图示可打开回流比控制画面。关于怎样操作仪表请看本章附录。

再用鼠标左键点击“控制柜下部”按钮，切换到控制柜下部画面，如下图所示：



鼠标左键点击“加热电源开关”（绿色开关为打开开关，红色为关闭）接通加热电源，然后点击“关闭”按钮关闭控制柜画面或者点击“控制柜上部”切换到控制柜上部画面。

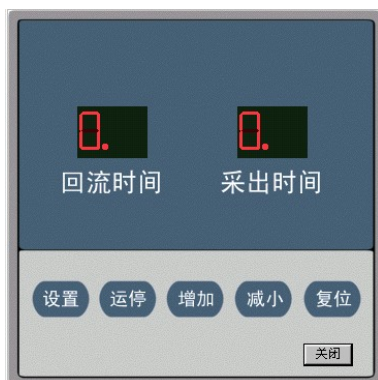
如果切换到控制柜上部画面，可以看到塔体和塔釜的温度及塔顶压力在不断上升。

加热开始后，回流开始前，应注意塔釜温度和塔顶压力的变化。当塔顶压力超过一个大气压很多时（例如 1.05atm 以上），应打开排气阀进行排气降压。此时应密切注视塔顶压力，当降到一个大气压时，应马上关闭。回流开始以后就不能再打开衡压排气阀，否则会影响实验结果的精度。当塔釜开始有蒸汽上升时应打开伴温开关。

注意：塔釜温度和塔身伴温是采用自动控制的，所以不用手工调节加热电压，到了一定的温度自动控温装置就会起作用。另外如果塔顶的温度或者压力过高，自动报警装置会报警并切断电源。

第三步：开始全回流

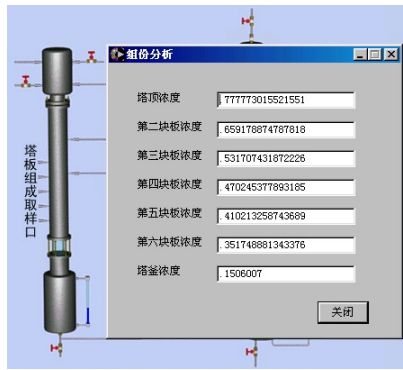
塔顶的冷却水默认全开，当塔釜温度接近 90 度左右时，开始有冷凝液。因为采用的回流分配器默认状态（0：0）下就是全回流，所以不用调节，如果有改动，请打开控制柜，点击“回流比控制”下方的图片，出现下图所示画面：



请调节回流时间与采出时间均为零。

第四步：读取全回流数据

鼠标左键点击“塔板组成取样口”位置可看到组份分析窗口（真实实验用仪器检测，此处简化），如图所示。

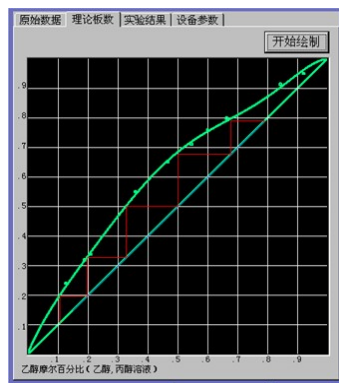


开始全回流 10 分钟以上，组份基本稳定达到正常值（此时各板的浓度基本不再变化）。当组份稳定以后，鼠标左键点击主窗口左侧菜单“数据处理”，在“原始数据”页填入数据，如图所示：

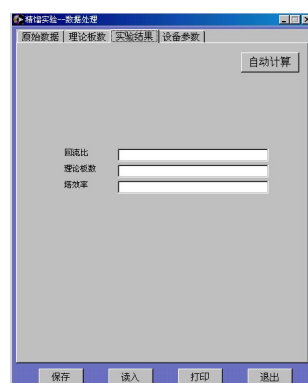


其余的数据请参见“设备参数”页。

然后在“理论板数”页“开始绘制”按钮即可画出理论板。



此时再到“实验结果”页点击“自动计算”按钮即可自动计算并填入结果。



第五步：逐步进料，开始部分回流。

全回流完成以后，可以调节回流比开始部分回流，请打开控制柜，点击“回流比控制”下方的图片，出现下图所示画面。点击“设置”按钮，回流时间所对应的数字会闪烁不停，点击“增加”按钮四次，使读数变为“4”；再次点击“设置”按钮，使“采出时间”对应的数字闪烁，点击“增加”按钮一次，使读数变为“1”。最后点击“运停”，回流比设置完毕。



打开进料阀和原料液罐左边的塔釜采出阀，并注意维持塔釜液位。

注意：产品采出阀自动开启，不需手动调节。

建议条件： 进料：0.1ml/s

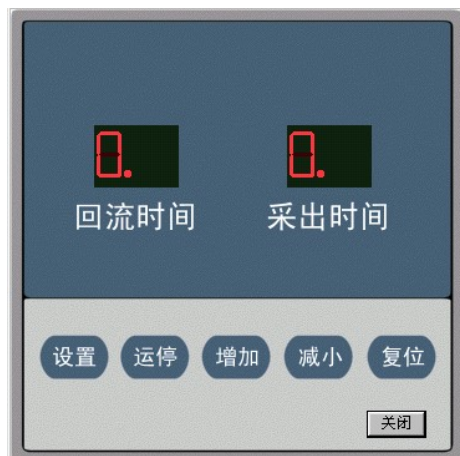
回流比： 4: 1

塔釜采出阀开度：50%

读取部分回流数据与读取全回流数据基本相同，请参见读取全回流数据。部分回流数据处理与全回流基本相同，请参见全回流数据处理

附录：

本实验所用的调节仪表使用方法。以回流分配器为例：



下面介绍各功能键的用途：

设置——在回流时间和采出时间两个调节项目之间来回切换，使之变为调节状态；

运停——开始运行当前设置；

增加——所选项目增加 1（最大 99）；

减小——所选项目减小 1（最小 0）；

复位——两个项目都变成 0 的原始状态；

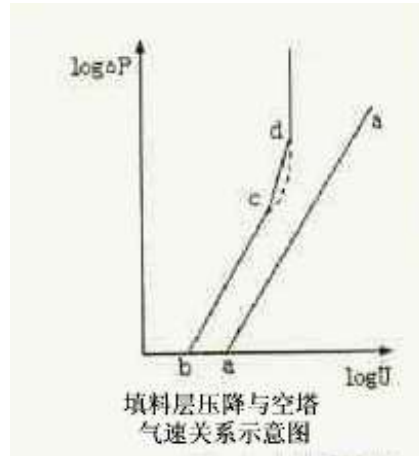
用鼠标点击“设置”，“回流时间”所对应的数字将闪烁不停，表明它处于被调节状态，

此时点击“增加”将使它增加 1，点击减小使它减 1；再次点击“设置”，将使“采出时间”闪烁，表明它处于被调节状态，点击“增加”和“减小”按钮可调节它的数值。当数值更改完毕，点击“运停”使当前设置生效，或点击“复位”，重新开始调节。

实验十 吸收实验(流程二)

一、实验原理

1、填料塔流体力学特性:



气体通过干填料层时，流体流动引起的压降和湍流流动引起的压降规律相一致。

在双对数坐标系中用压降对气速作图得到一条斜率为 1.8~2 的直线（图中 aa 线）。而有喷淋量时，在低气速下（C 点以前）压降也比例于气速的 1.8~2 次幂，但大于同一气速下干填料的压降（图中 bc 段）。随气速增加，出现载点（图中 c 点），持液量开始增大，压降-气速线向上弯曲，斜率变大，（图中 cd 段）。到液泛点（图中 d 点）后在几乎不变的气速下，压降急剧上升。

测定填料塔的压降和液泛速度，是为了计算填料塔所需动力消耗和确定填料塔的适宜制作范围，选择合适的气液负荷。

2、传质实验:

填料塔与板式塔内气液两相的接触情况有着很大的不同。在板式塔中，两相接触在各块塔板上进行，因此接触是不连续的。但在填料塔中，两相接触是连续地在填料表面上进行，需计算的是完成一定吸收任务所需填料高度。填料层高度计算方法有传质系数法、传质单元法以及等板高度法。总体积传质系数 K_{Ya} 是单位填料体积、单位时间吸收的溶质量。它是反映填料吸收塔性能的主要参数，是设计填料高度的重要数据。

本实验是水吸收空气-氨混合气体中的氨。混合气体中氨的浓度很低。吸收所得的溶液浓度也不高。气液两相的平衡关系可以认为服从亨利定律（即平衡线在 x-y 坐标系为直线）。故可用对数平均浓度差法计算填料层传质平均推动力，相应的传质速率方程式为：

$$G_A = K_{Ya} \cdot V_p \cdot \Delta Y_m$$

所以
$$K_{Ya} = G_A / (V_p \cdot \Delta Y_m)$$

其中

$$\Delta Y_m = \frac{(Y_1 - Y_{e1}) - (Y_3 - Y_{e2})}{\ln \frac{Y_1 - Y_{e1}}{Y_3 - Y_{e2}}}$$

式中:

G_A —单位时间内氨的吸收量 [kmol/h]。

K_{Ya} —总体积传质系数 [kmol/m³·h]。

V_p —填料层体积[m³]。

ΔY_m —气相对数平均浓度差。

Y_1 —气体进塔时的摩尔比。

Y_{e1} —与出塔液体相平衡的气相摩尔比。

Y_2 —气体出塔时的摩尔比。

Y_{e2} —与进塔液体相平衡的气相摩尔比。

3、计算方法、公式：

(1) 氨液相浓度小于 5% 时气液两相的平衡关系：

温度 [°C]:	0	10	20	25	30	40
亨利系数 E [atm]:	0.293	0.502	0.778	0.947	1.250	1.938

(2) 总体积传质系数 K_{ya} 及气相总传质单元高度 H_{og} 整理步骤

$$K_{ya} = G_A / V_p \cdot \Delta Y_m$$

a、标准状态下的空气流量 V_0 ：

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{T_0}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{P_1 \cdot P_2}{T_1 \cdot T_2}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中：

V_1 ——空气转子流量计示值 $[\text{m}^3/\text{h}]$

T_0 、 P_0 ——标准状态下的空气的温度和压强

T_1 、 P_1 ——标定状态下的空气的温度和压强

T_2 、 P_2 ——使用状态下的空气的温度和压强

b、标准状态下的氨气流量 V_0' ：

$$V_0' = V_1' \cdot \frac{T_0}{P_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{01} \cdot P_1 \cdot P_2}{\rho_{02} \cdot T_1 \cdot T_2}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

式中：

V_1' ——氨气转子流量计示值 $[\text{m}^3/\text{h}]$

ρ_{01} ——标准状态下氨气的密度 $1.293 \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$

ρ_{02} ——标定状态下氨气的密度 $0.7810 \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$

如果氨气中纯氨为 98%，则纯氨在标准状态下的流量 V_0'' 为：

$$V_0'' = 0.98 \cdot V_0'$$

c、惰性气体的摩尔流量 G ：

$$G = V_0 / 22.4$$

d、单位时间氨的吸收量 G_A ：

$$G_A = G \cdot (Y_1 - Y_2)$$

e、进气浓度 Y_1 ：

$$Y_1 = \frac{n_1}{n_2}$$

f、尾气浓度 Y_2 ：

$$Y_2 = \frac{N_s \cdot V_s}{V \cdot \frac{T_0}{T} / 22.4}$$

式中:

- N_s ——加入分析盒中的硫酸当量浓度 [N]
- V_s ——加入分析盒中的硫酸体积 [ml]
- V ——湿式气体流量计所得的空气体积 [ml]
- T_0 ——标准状态下的空气温度
- T ——空气流经湿式气体流量计时的温度

g、对数平均浓度差 $(\Delta Y)_m$:

$$(\Delta Y)_m = \frac{(Y - Y_e)_1 - (Y - Y_e)_2}{\ln \frac{(Y - Y_e)_1}{(Y - Y_e)_2}}$$

$$Y_{e2} = 0$$

$$Y_{e1} = m^* x_1$$

$$m = E/P$$

$$P = \text{大气压} + \text{塔顶表压} + (\text{填料层压差}) / 2$$

$$x_1 = G_A / L_s$$

式中:

E ——亨利常数

P ——系统总压强

L_s ——单位时间喷淋水量 [kmol/h]

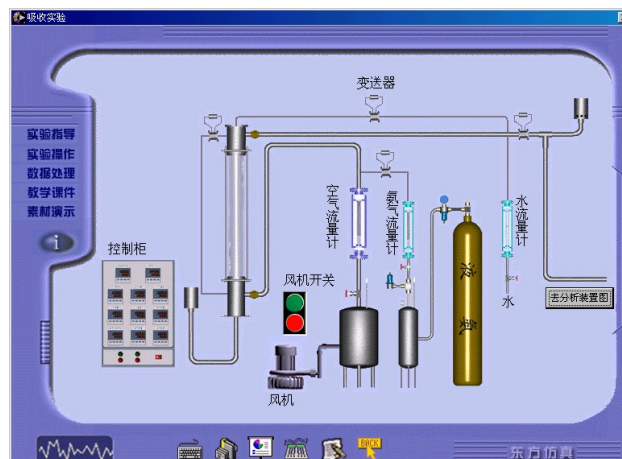
h、气相总传质单元高度:

$$H_{OG} = G' / K_{Ya}$$

式中:

G' ——混合体气通过塔截面的摩尔流速

二、实验设备及流程



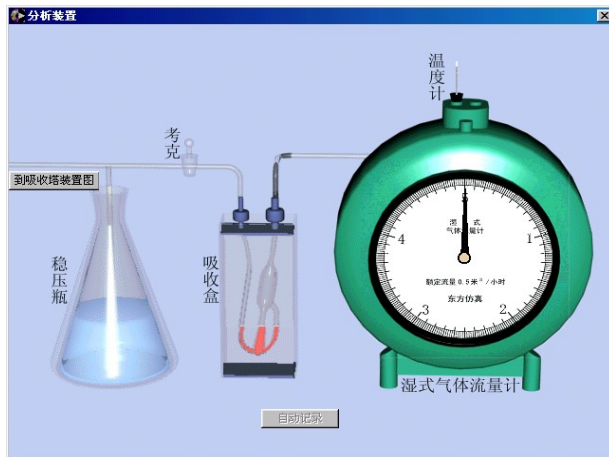
如图是吸收实验装置界面，氨气钢瓶来的氨气经缓冲罐，转子流量计与从风机来经缓冲罐、转子流量计的空气汇合，进入吸收塔的底部，吸收剂（水）从吸收塔的上部进入，二者在吸收塔内逆向流动进行传质。

基本数据:

塔径 $\Phi 0.10\text{m}$ ，填料层高 0.75m 。

填料参数: $12 \times 12 \times 1.3[\text{mm}]$ 瓷拉西环。 $a_1 - 403[\text{m}^{-1}]$ ， $\epsilon - 0.764$ ， $a_1/\epsilon^3 - 903[\text{m}^{-1}]$ 。

尾气分析所用硫酸体积: 1ml ，浓度: 0.00968N



从塔顶出来的尾气进到分析装置进行分析，分析装置由稳压瓶、吸收盒及湿式气体流量计组成。稳压瓶是防止压力过高的装置，吸收盒内放置一定体积的稀硫酸作为吸收液，用甲基红作为指示剂，当吸收液到达终点时，指示剂由红色变为黄色。

三、实验步骤

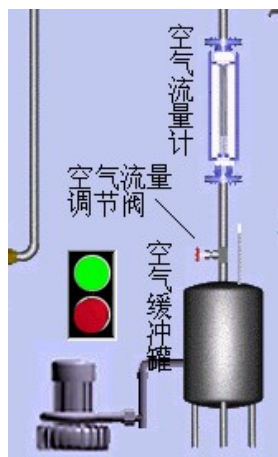
第一步：启动风机，开始送风

点击电源开关的绿色按钮接通电源，就可以启动风机，并开始工作。



第二步：调节空气流量，测量干塔压降

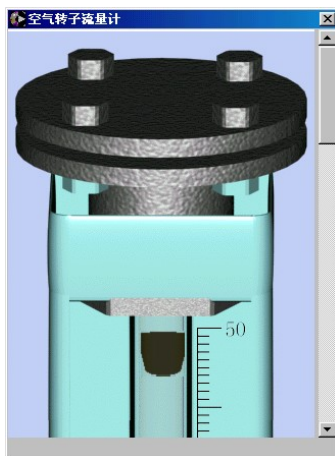
1、调节空气流量。



打开空气流量调节阀，调节空气流量。由于气体流量于气体状态有关，所以每个气体流量计前都有压差计（测表压）和温度计，和流量计共同使用，转换成标准状态下的流量进行计算和比较。将空气流量调节阀的开度调节到 100，稍许等待，进行下一步。

2、读取数据

鼠标左键点击空气的转子流量计，读取空气的流量，如下图所示：



鼠标左键点击空气的压差计，读取空气的当前流量下的压差。

鼠标左键点击空气缓冲罐上的温度计，读取温度。



鼠标左键点击控制柜，读取压力：



3、记录数据

鼠标左键点击实验主画面左边菜单中的“数据处理”，可调出数据处理窗口，点击干塔数据页，按标准数据库操作方法在各项目栏中填入所读取的数据，也可以使用自动记录功能

进行自动记录。



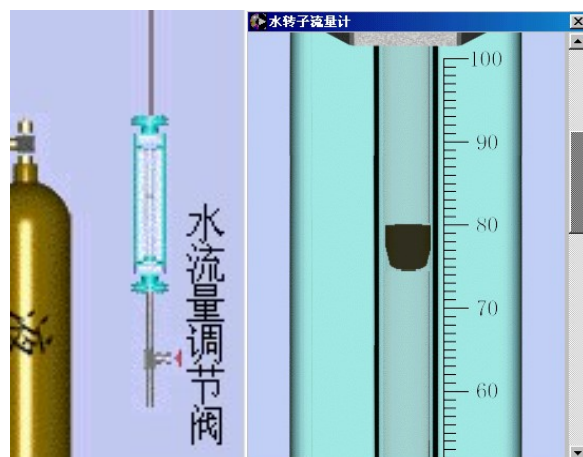
第三步：进水，测量湿塔压降

1、降低空气流量。

干塔压降测量完毕后，在进水之前，应减少空气流量，因为如果空气流量过大，会引起强烈的液泛，有可能损坏填料。

2、进水，湿润填料。

打开水流量调节阀，调节进水流量（建议 80 l/h）。然后慢慢增大空气流量直到液泛，鼠标左键点击塔身可看到塔内的状况。液泛一段时间使填料表面充分润湿。然后减小空气流量到较小的水平。



注意：本实验是在一定的喷淋量下测量塔的压降，所以水的流量应不变。在以后实验过程中不要改变水流量调节阀的开启度。

3、读取数据

测量湿塔的压降与测量干塔的压降所读取的数据基本一致，参见“测量干塔压降”的“读取数据”，但只多了一项水的流量，点击水的转子流量计即可读取。

逐渐加大空气流量调节阀的开启度，增加空气流量，多读取几组塔的压降数据。同时注意塔内的气液接触状况，并注意填料层的压降变化幅度。液泛后填料层的压降在气速增加很小的情况下明显上升，此时再取 1~2 个点就可以了，不要使气速过分超过泛点。

第四步：传质系数测定

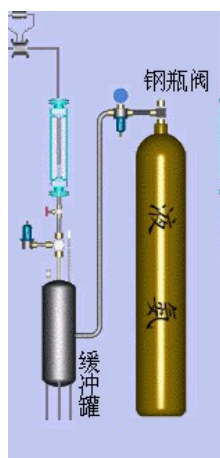
建议的实验条件：

水流量：80 l/h 空气流量：20 m³/h 氨气流量：0.5 m³/h

以上为建议实验条件，不一定非要采用，但总体上要注意气量和水量不要太大，氨气浓度不要过高，否则引起数据严重偏离。

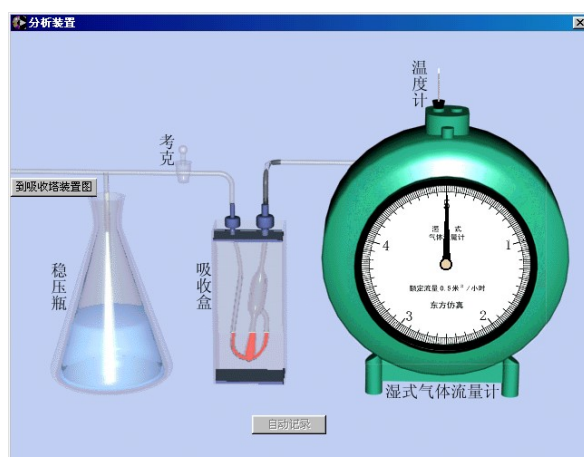
1、通入氨气

将鼠标移动到钢瓶阀上，鼠标会变成扳手形状，此时左键点击打开，右键点击关闭（不能在此调节流量）。氨气流量计前也有压差计和温度计，用氨气调节阀调节氨气流量（实验建议流量 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ）。

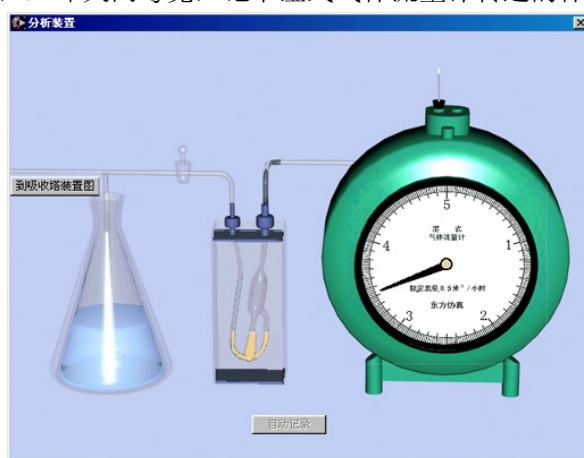


2、进行尾气分析

通入氨气后，鼠标左键点击实验主窗口右边的命令键“去分析装置”，进入分析装置画面。



打开考克，让尾气流过吸收盒，同时湿式气体流量计开始计量体积。当吸收盒内的指示剂由红色变成黄色时，立即关闭考克，记下湿式气体流量计转过的体积和气体的温度。



3、读取数据

然后按照数据处理的要求读取各项数值，按标准数据库操作方法在各项目栏中填入所读

取的数据，也可以用自动记录功能记录数据。

参数名称	输入框
空气流量 (m ³ /h)	
空气压强 (Pa)	
空气温度 (°C)	
氨气流量 (l/min)	
氨气压强 (Pa)	
氨气温度 (°C)	
水流量 (l/h)	
水温 (°C)	
填料层压降 (Pa)	
塔顶压强 (Pa)	
V(H ₂ SO ₄) (ml)	
N(H ₂ SO ₄) (N)	
V(初) (l)	
V(末) (l)	
T(气体流量计) (°C)	

四、数据处理

见吸收实验一的介绍。

实验十一 过滤实验

一、实验要求:

了解板框过滤机的构造和操作方法。

掌握恒压过滤常数的测定方法测定恒压过滤常数 K ; 虚拟滤液体积 q_e ; 虚拟过滤时间 τ_e

二、基本原理:

过滤过程是将悬浮液送至过滤介质(滤布及滤渣)的一侧,在其上维持比另一侧较高的压力,液体则通过介质而成滤液,而固体粒子则被截留逐渐形成滤渣.过滤速率由过滤介质两端的压力差及过滤介质的阻力决定.过滤介质阻力由二部分组成,一为滤布,一为滤渣(先积下来的滤渣成为后来的过滤介质),因为滤渣厚度(亦即滤渣阻力)随着时间而增加,所以恒压过滤速度随着时间而降低.对于不可压缩滤渣,在恒压过滤情况下,滤液量与过滤时间的关系可用下式表示:

$$(V+V_e)^2=KS^2(\tau+\tau_e)$$

式中:

V ---- τ 时间内的滤液量, $[m^3]$

V_e ----虚拟滤液体积,是形成相当于滤布阻力的一层滤渣时,应得到的滤液量, $[m^3]$

S ----过滤面积, $[m^2]$

K ----过滤常数, $[m^2/s]$

τ ----相当于得到滤液 V 所需要的过滤时间, $[S]$

τ_e ----相当于得到滤液 V_e 所需要的过滤时间, $[S]$

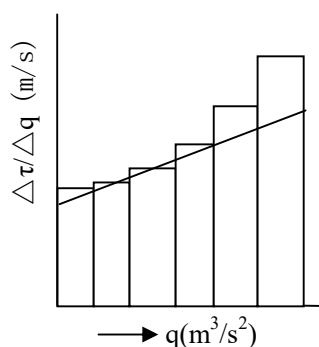
上式也可写成:

$$(q+q_e)^2=K(\tau+\tau_e)$$

微分后得到:

$$d\tau / dq = 2q / K + 2q_e / K$$

该微分式为一直线方程,其斜率为 $2/K$,截距为 $2q_e/K$ 。实验中 $\Delta\tau/\Delta q$ 代替 $d\tau/dq$,通过实验测定一系列的 $\Delta\tau$ 与 Δq 值,用作图的方法,求出直线的斜率、截距,进而求出恒压过滤常数 K ,虚拟滤液体积 q_e ,将 q_e 代入方程(2)可求出虚拟过滤时间 τ_e 。



计算方法、原理、公式:

恒压过滤方程式为:

$$(q+q_e)^2=K(\tau+\tau_e) \dots (1)$$

只考虑介质阻力时:

$$q_e^2=K\tau_e \dots (2)$$

对(1)式微分并代入(2)式得:

$$d\tau / dq = 2q / K + 2q_e / K$$

式中: τ ---过滤时间 $[s]$;

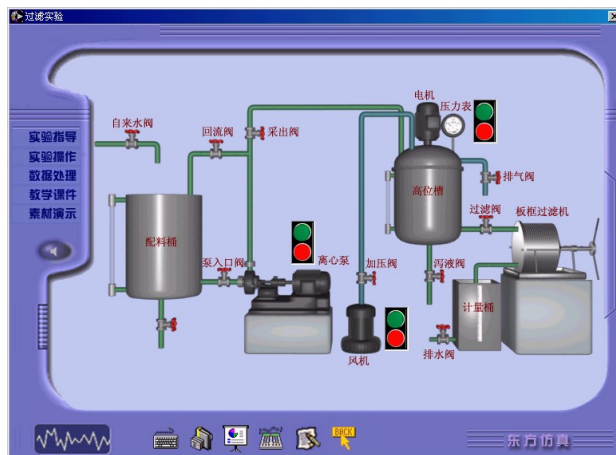
q ---滤液体积 $[m^3/m^2]$;

q_e ---虚拟滤液体积[m³/m²];

K ---恒压过滤常数[m²/s];

该微分式为一直线方程，其斜率为 $2/K$ ，截距为 $2q_e/K$ 。实验中 $\Delta \tau / \Delta q$ 代替 $d\tau / dq$ ，通过实验测定一系列的 $\Delta \tau$ 与 Δq 值，用作图的方法，求出直线的斜率、截距，进而求出恒压过滤常数 K ，虚拟滤液体积 q_e ，将 q_e 代入方程 (2) 可求出虚拟过滤时间 τ_e 。

三、实验设备及流程



设备参数:

板框数: 10

总过滤面积 (m²): 0.8

滤板尺寸 (mm): 300x300

过滤压力 (MPa): 0.15

电机功率 (Kw): 1.1

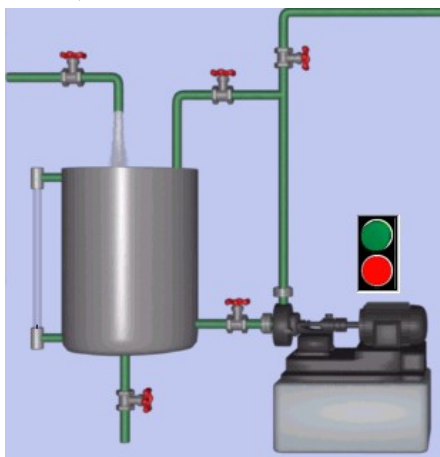
风机功率 (Kw): 1.1

配料桶底面积 (m²): 0.5

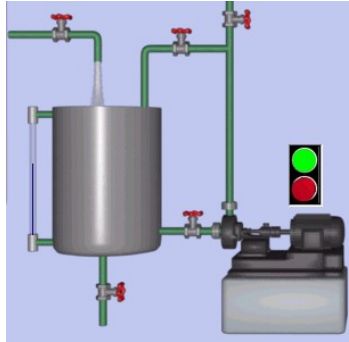
计量桶底面积 (m²): 0.5

四、实验步骤

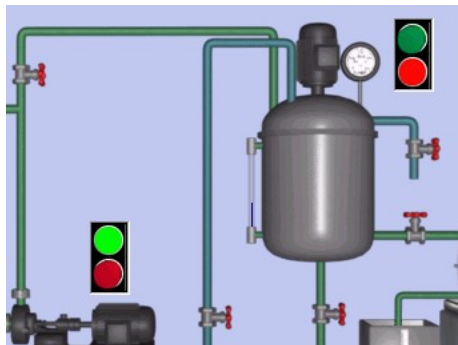
首先,打开自来水阀,往配料桶供水,如图所示:



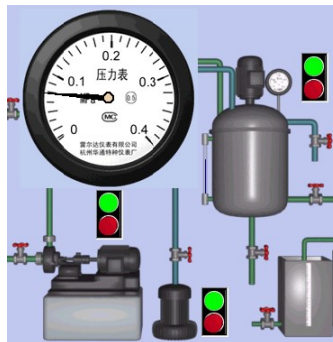
启动离心泵,打开回流阀,将悬浮液搅拌均匀,如图所示:



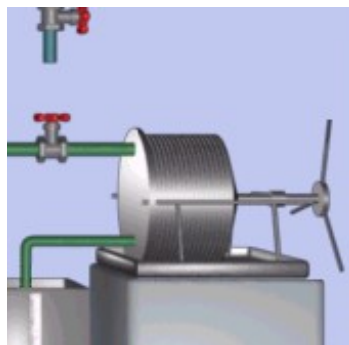
当悬浮液搅拌均匀后,打开高位槽的排气阀,再采出阀,向高位槽输送悬浮液:



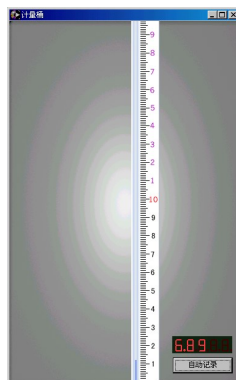
启动风机, 打开加压阀, 给发高位槽加压, 点击压力表可显示高位槽压力, 当压力在 0.1-0.3Mpa 时, 将加压阀与排气阀开度保持一致, 使高位槽压力稳定, 打开搅拌电机开关:



点击板框过滤机右边的旋柄,压紧板框:



打开过滤阀,即可开始过滤,点击计量桶,可观察液位,本实验自动记录默认打开,点击自动记录按钮即可记录数据



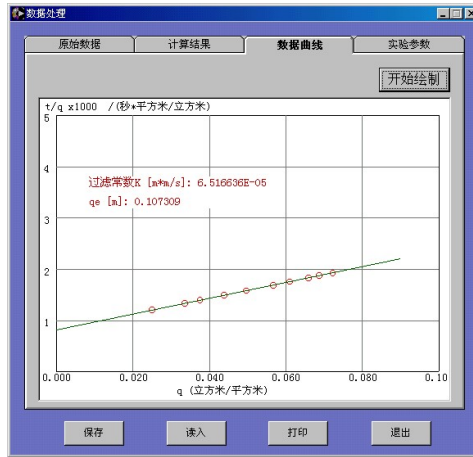
点击左侧菜单的数据处理按钮,可查看自动记录的原始数据:



点击显示计算结果画面,再点击自动计算按钮,即可得到计算结果:



点击显示数据曲线画面,再点击开始绘制按钮,即可得到数据曲线:



点击显示实验参数画面,可查看本实验各设备的参数: