

湖南科技大学

多媒体教学课件简介

本教学课件不包含演示实验及计算机仿真实验的教学内容，只就比较典型的操作实验进行多媒体讲解，具体的操作实验项目如下：

填料塔精馏实验

空气循环干燥实验

吸收及填料吸收塔水力学实验

总传热系数的测定实验

传热膜系数的测定实验

恒压过滤实验

离心泵性能实验

流体流动阻力的测定实验

湖南科技大学化学化工学院

一、试验目的及任务

1. 熟悉精馏的工艺流程。
2. 了解填料精馏塔的结构。
3. 掌握精馏塔的操作方法与调节。
4. 掌握二元混合液的精馏实验方法，加强对连续精馏原理的理解。



二、基本原理

1. 如果每层塔板上的液体与离开该板的上升蒸汽处于平衡状态，则该塔板称**理论塔**。

◆ 实际操作中，由于接触时间的限制以及其它因素的影响，**不能达到平衡状态**，即实际塔板的分离达不到理论板的理想分离效果。

因此所需**实际塔板数**总比理论板数要多。



2.对于二元物系，倘已知汽、液平衡数据，则根据塔顶馏出液的组成 X_D ，原料液的组成 X_f ，塔釜残液的组成 X_w 及操作回流比 R 和进料状态参数 q ，就可用图解法求得理论塔板数。

◆理论塔板数与实际塔板数之比定义为全塔效率：

$$E_T = \frac{N_T}{N_p}$$



式中： E_T ——全塔效率。

N_T ——理论塔板数。

N_p ——实际塔板数。

◆塔的单板效率（塔板数自下而上数），对于

汽相为：

$$E_{nv} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n^* - y_{n-1}}$$

◆对于液相为：

$$E_{nL} = \frac{x_{n+1} - x_n}{x_{n+1} - x_n^*}$$



式中:

E_{nv} —以汽相浓度表示的单板效率;

y_n —离开n板的汽相组成, [摩尔分率];

y_{n-1} —进入n板的汽相组成, [摩尔分率];

y_n^* —与 x_n 成平衡的汽相组成, [摩尔分率];

E_{nL} —以液相组成表示的单板效率;

x_{n+1} —进入n板的液相组成, [摩尔分率];



x_n —离开n板的液相组成，[摩尔分率]；

x_n^* —与 y_n 成平衡的液相组成，[摩尔分率]。

3. 在任一回流比和一定的操作气速下，表征填料精馏塔分离能力是以每米填料高度所具有的理论塔板数或等板高度（一块理论塔板相当的填料高度）作主要指标。

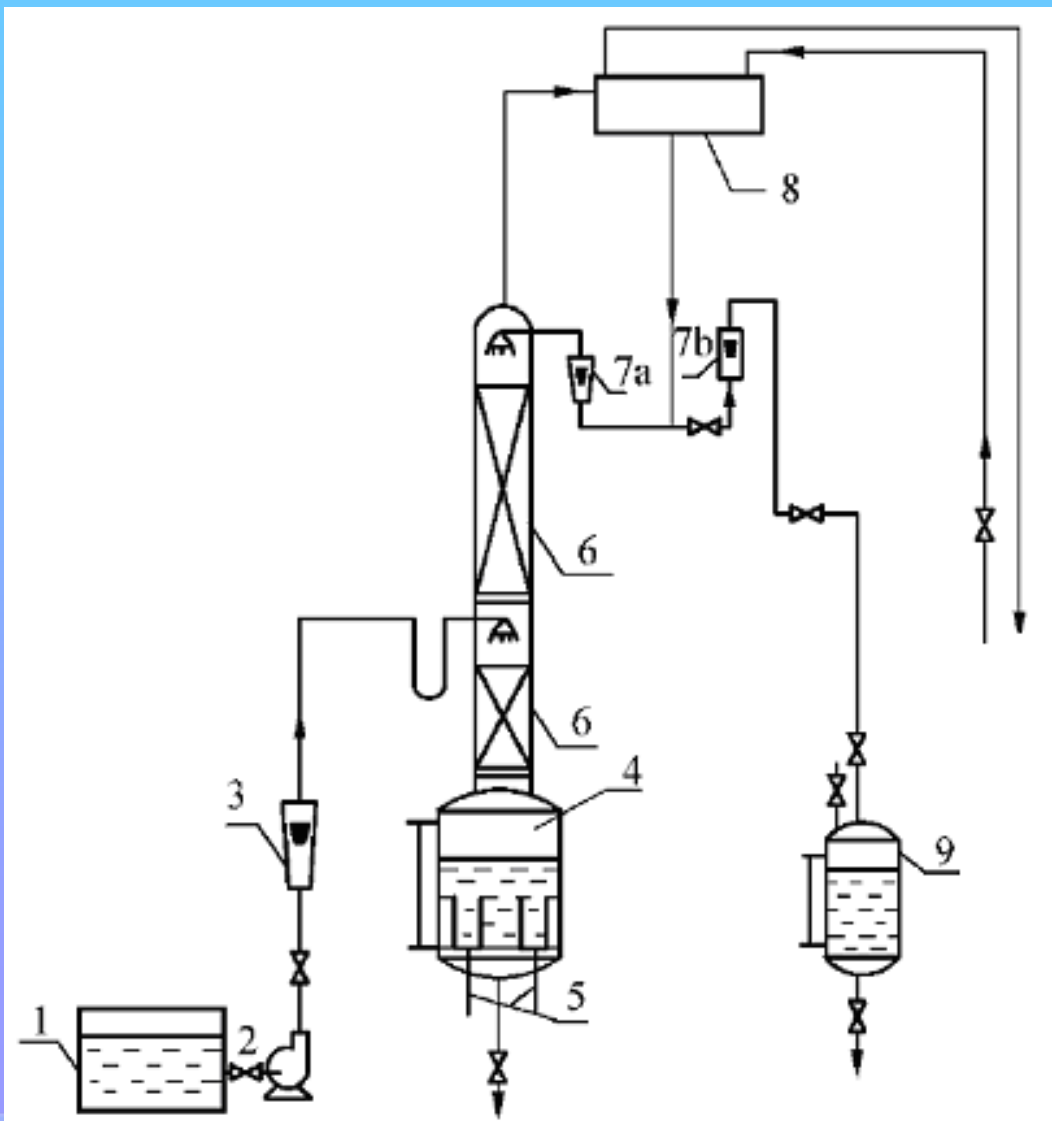


4. 填料塔理论塔板数 N_T 其精馏段可以按精馏段的操作线方程和平衡线方程逐板计算；提馏段可以按提馏段的操作线方程和平衡线方程逐板计算；

5. 全回流下理论塔板数 N_{T0} 用芬斯克公式计算；相对挥发度采用塔顶、塔釜的几何平均值计算；全回流时的等板高度为： $h_{e0}=h/N_{T0}$ ，不同回流比时的等板高度为： $h_e=h/N_T$



三、实验装置及流程



- 1.料槽
- 2.加料泵
- 3.转子流量计
- 4.蒸馏釜
- 5.加热器
- 6.填料塔主体
- 7a.转子流量计
- 7b.转子流量计
- 8.冷凝器
- 9.产品罐



四、操作要点

1. 熟悉精馏塔的结构和精馏工艺流程，并了解各部分的作用。
2. 将光电管定位在液泛釜压的60-80%处，操作稳定（40分钟）后，从塔顶、塔底采样分析。
3. 回流比 $R=1-50$ 范围内，选择4-5个回流值下进行实验测定，每次采样后立即测定馏出



①

②

③

④

⑤

⑥

⑦

⑧



4. 在选定回流比后，在液泛釜压以下选取4-5个数据点，分别不同蒸汽速度下的实验数据。

5. 注意采集试样前一定要有足够的时间；回流液的温度一定要控制恒定，并接近柱顶温度；预液泛不要过于猛烈；再沸器和预热器始终保持在电阻膜加热器以上；实验完毕先关加热电源，物料冷却后再停冷却水。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.在一定蒸汽汽速、不同回流比下对理论塔板数、等板高度、利用系数和压降绘制实验曲线。
- 3.在一定回流比、不同蒸汽汽速（或馏出液流量）下对理论塔板数、等板高度、利用系数和压降绘制实验曲线。



六、讨论题

1. 什么是全回流?全回流操作特征有哪些?在生产中有什么实际意义?
2. 全回流操作时,塔内轻组分存液量的多少,为什么要控制在某一个范围?
3. 本实验装置能否精馏出98%以上(重量组成)的酒精?



4. 塔釜加热情况对精馏塔的操作有什么影响？怎样维持正常操作？你认为塔釜加热量主要消耗在何处？与回流量有无关系？
5. 如果塔顶（浓度）不合格，应如何调节？



6. 在本精馏实验操作中，塔内板上温度受哪些因素影响？试从相平衡和操作因素二方面分别与于讨论。

7. 当回流比 $R < R_{\min}$ 时精馏塔是否还能操作？



化工原理实验

空气循环干燥实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

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。
4. 学习恒速干燥阶段物料与空气之间对流传热系数的测定方法。

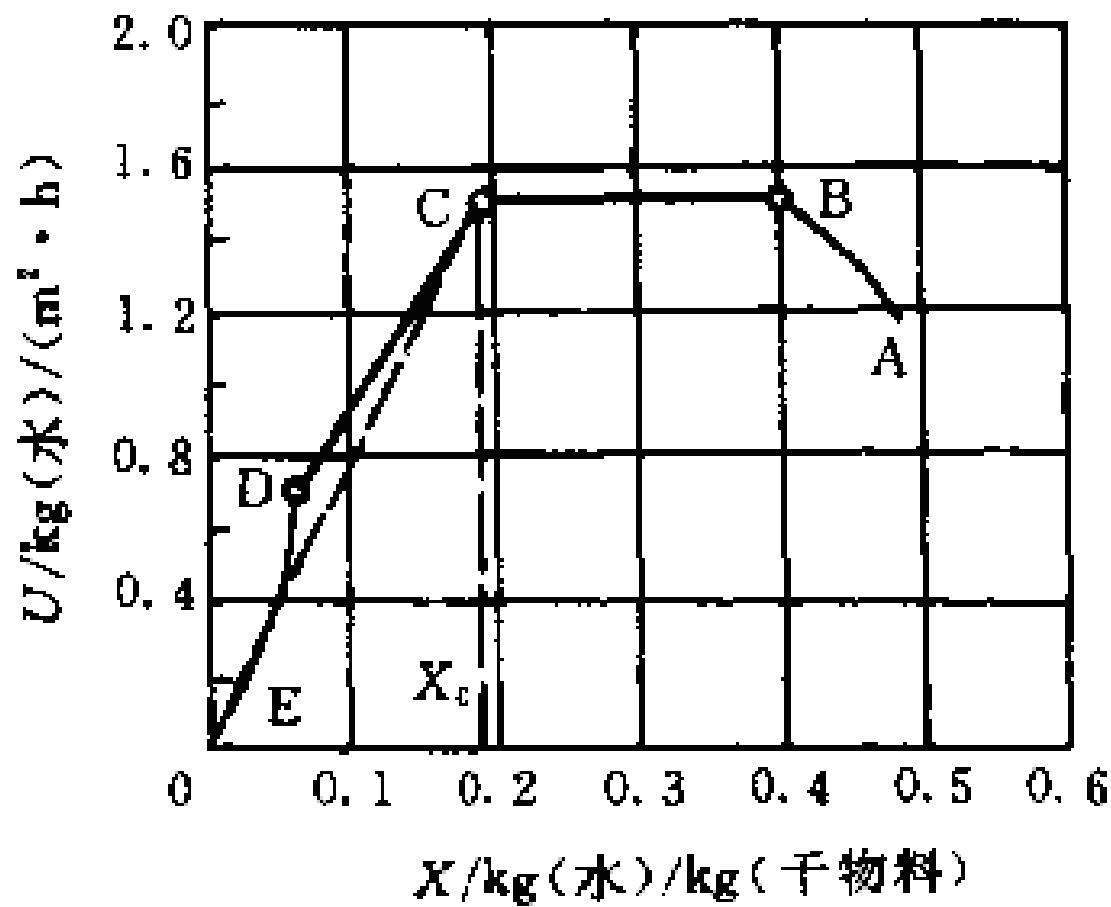


二、基本原理

当湿物料与干燥介质相接触时，物料表面的水分开始气化，并向周围介质传递。根据干燥过程中不同期间的特点，干燥过程可分为两个阶段（见干燥曲线图）。

◆ 第一个阶段为恒速干燥阶段（ABC）。在过程开始时，由于整个物料的湿含量较大，其内部的水分能迅速地达到物料表面。因此，干燥速率为物料表面上水分的气化速率所控制，故此阶段亦称为表面气化控制阶段。在此阶段，干燥介质传给物料的热量全部用于水分的气化，物料表面的温度维持恒定（等于热空气湿球温度），物料表面处的水蒸汽分压也维持恒定，故干燥速率恒定不变。





◆ 第二个阶段为降速干燥阶段（CDE），当物料被干燥达到临界湿含量后，便进入降速干燥阶段。此时，物料中所含水分较少，水分自物料内部向表面传递的速率低于物料表面水分的气化速率，干燥速率为水分在物料内部的传递速率所控制。故此阶段亦称为内部迁移控制阶段。随着物料湿含量逐渐减少，物料内部水分的迁移速率也逐渐减少，故干燥速率不断下降。

1. 干燥速率的测定

$$U = \frac{dW'}{Sd\tau} \approx \frac{\Delta W'}{S\Delta\tau}$$

式中： U — 干燥速率， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

S — 干燥面积， m^2 。

τ — 时间间隔， h 。

ΔW — τ 时间间隔内干燥气化的水分量， kg



2. 物料干基含水量

$$X = \frac{G' - Gc'}{Gc'}$$

式中： X ——物料干基含水量， kg水/kg绝干物料。

G' ——固体湿物料的量， kg。

Gc' ——绝干物料量， kg。

3. 恒速干燥阶段，物料表面与空气之间对流传热系数的测定

$$U_c = \frac{dW'}{Sd\tau} = \frac{dQ'}{r_{tw}Sd\tau} = \frac{\alpha(t - t_w)}{r_{tw}}$$

$$\alpha = \frac{U_c \cdot r_{tw}}{t - t_w}$$



式中：

α ——恒速干燥阶段物料表面与空气之间的对流传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{C})$ ；

U_c ——恒速干燥阶段的干燥速率， $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ；

t_w ——干燥器内空气的湿球温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t ——干燥器内空气的湿球温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

r_{tw} —— t_w 水的气化热， J/kg 。



4.干燥器内空气实际体积流量的计算

$$V_t = V_{t_0} \times \frac{273 + t}{273 + t_0}$$

式中： V ——干燥器内空气实际流量， m^3/s ；

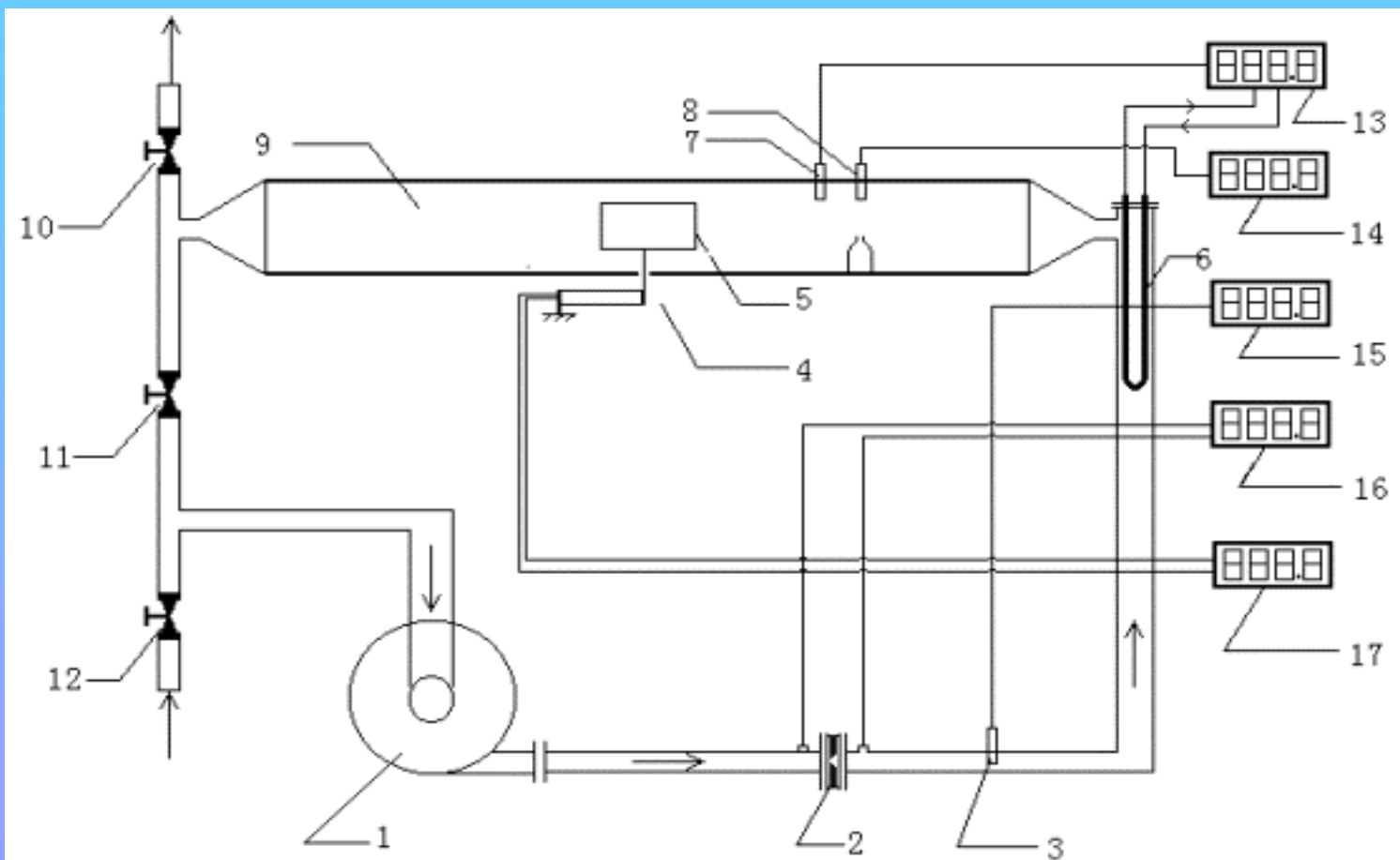
t_0 ——流量计处空气的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

V_{t_0} ——常压下 $t_0^{\circ}\text{C}$ 时空气的流量， m^3/s ；

t ——干燥器内空气的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。



三、实验装置及流程



1.离心风机

2.涡轮流量计

6.电加热器

7.干球温度计

9.洞道干燥室

10.废气排出阀

11.废气循环阀

3、15.流量计处温度计显示仪 4、17.重量传感器

5.干燥物料（纸板） 8、14.湿球温度计显示仪

13.电加热控制仪表 16.流量计压差变送器和显示仪

12.新鲜空气进气阀



四、操作要点

1. 将干燥物料（纸板）放水中浸湿，拿出稍候片刻，让水分均匀扩散到整个试样。
2. 调节送风机吸入口的蝶阀到全开的位置后启动风机。
3. 用废气排出阀和废气循环阀调节到指定的流量后，开启加热电源。在智能仪表中设定干球温度，仪表自动调节到指定的温度。
4. 在空气温度、流量稳定的条件下，用重量传感器测定支架的重量并去皮。
5. 把充分浸湿的干燥物料（纸板）固定在上并与气流平行放置。
6. 在稳定的条件下，记录干燥时间每隔1或2分钟干燥物料减轻的重量。直至干燥物料的重量不再明显减轻为止。
7. 改变空气流量或温度，重复上述实验。
8. 关闭加热电源，待干球温度降至常温后关闭风机电源和总电源。
9. 实验完毕，一切复原。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.根据实验结果绘制出干燥速率曲线，并得出恒定干燥速率、临界含水量。
- 3.估算出恒速干燥阶段物料与空气之间对流传热系数。



六、讨论题

1. 多孔吸水性物料如实验中的纸板干燥速率曲线有什么特征？
2. 假设干燥过程为绝热增湿过程，如何求得干燥室内空气的平均湿度含量 H ？
3. 为什么同一温度的空气，温度较高有利于干燥进行？



4. 本实验装置在干燥室进口装有干球温度计和湿球温度计，在出口装有干球温度计，以便确定干燥室内空气性质。

◆ 如果把湿球温度计改装在干燥室出口是否可以 (甚至不装)? 将如何确定干燥室空气性质 (注: 不装是指不循环干燥)?

5. 本循环干燥实验装置，操作稳定后，假设循环比为85%，试估计电加热器的热负荷。



化工原理实验

吸收与填料吸收塔水力学实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

1. 观察填料塔内气液两相流动情况及液泛现象。
2. 测定在不同喷淋密度下， $\Delta P-u$ 的关系曲线。
3. 掌握总传质系数的测定方法并分析其影响因素。
4. 通过实验了解 $\Delta P-u$ 曲线和传质系数对工程设计的重要意义。



二、基本原理

1. 填料塔流体力学特性实验

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。在双对数坐标系中对压降 ΔP - u 气速作图得到一条斜率为1.8—2的直线段。而有喷淋量时，在低气速时压降也正比于气速的1.8—2次幂，但大于同一气速下干填料的压降。随气速增加，出现转折点—载点，持液量开始增大，压降—气速线向上弯曲，斜率变陡。到第二转折点—液泛点后在几乎不变的气速下，压降急剧上升，气体变成了分散相在液体里鼓泡。

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适宜操作范围，选择合适的气液负荷。



2. 传质实验

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：

$$G_A = K_{Y\alpha} \cdot V_P \cdot \Delta Y_m \quad \text{所以} K_{Y\alpha} = \frac{G_A}{V_P \Delta Y_m}$$

$$\text{其中} \Delta Y_m = \frac{(Y_1 - Y_{e_1}) - (Y_2 - Y_{e_2})}{\ln \frac{Y_1 - Y_{e_1}}{Y_2 - Y_{e_2}}}$$



式中： G_A —单位时间内氨的吸收量， kmol/h

$K_{y\alpha}$ —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 —气体进塔进的摩尔比

Y_{e1} —与出塔液体相平衡的气相摩尔

Y_2 —气体出塔时的摩尔比

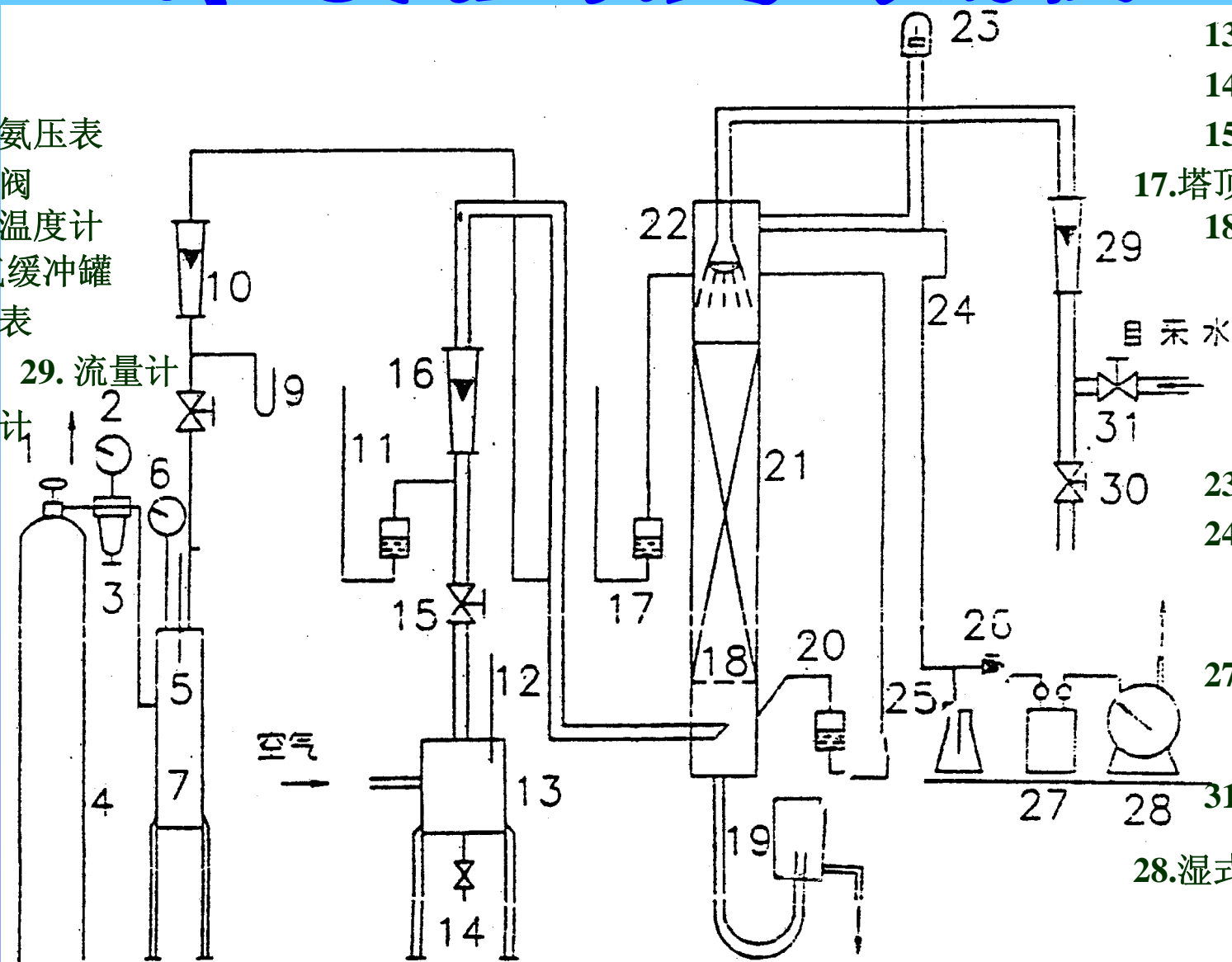
Y_{e2} —与进塔液体相平衡的气相摩尔比



三、实验装置及流程

- 1. 氨瓶
- 2、6. 氨压表
- 3. 减压阀
- 5、12. 温度计
- 7. 氨气缓冲罐
- 9. 氨压表
- 10、16、29. 流量计
- 11. 氨压计

- 13. 空气缓冲罐
- 14. 放空阀
- 15. 空气调节阀
- 17. 塔顶尾气压力计
- 18. 填料支撑板
- 19. 排液管
- 20. 塔压降
- 21. 填料塔
- 22. 喷淋器
- 23. 尾气稳压阀
- 24. 尾气采样管
- 25. 稳压瓶
- 26. 采样考克
- 27. 吸收分析盒
- 30. 放空阀
- 31. 进水调节阀
- 28. 湿式体积流量计



四、操作要点

1. 流体力学性能测定

(1) 测定干填料压降

塔内填料务必事先吹干。微开空气调节阀，开启气泵，缓慢调节空气调节阀15改变空气流量6次左右，测定塔压降，得到 ΔP 干— u 关系。

(2) 测定湿填料压强降

a. 测定前要进行预液泛，使填料表面充分润湿。打开进水调节阀，缓慢调节进水调节阀31，水压不要太高，水流量不要超过100L/h，当水压稳定后；缓慢加大空气流量观察液泛现象。



b. 实验接近液泛时，进塔气体的增长速度要放慢，不然图中泛点不易找到。密切观察填料表面气液接触状况，并注意填料层压降变化幅度，待各参数稳定后再读数据。液泛后填料层压降在几乎不变气速下明显上升，务必要掌握这个特点。稍稍增大气量，再取一、两个点就可以了，并注意不要使气速过分超过液泛点。避免冲破和冲跑填料。

(3) 要注意空气转子流量计的调节阀要缓慢开启和关闭，以免撞碎玻璃管，且开停车之前要微开调节阀。

2. 传质实验

(1) 关减压阀后缓慢开氨气阀，再缓慢开减压阀。保持氨气稳压罐压力在0.05MPa左右，氨气流量不得过大，以免冲出指示液。

(2) 传质实验操作条件选取

水喷淋密度 $10\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$ ；空塔气速 $0.5 \sim 0.8\text{m} / \text{s}$ ；氨气入塔浓度约量 $3 \sim 5\%$ 为宜。



(3) 尾气组成 Y_2 分析

预先往分析盒中加入1ml当量浓度已知的稀硫酸作为吸收液，加入2~3滴甲基红作指示剂，用蒸馏水补充至刻度线，避免分析误差。分析开始，打开考克26，被测塔顶尾气通过分析盒后其中氨被吸收，而空气由湿式气体流量计28计量。考克26开度适中，过大则吸收不完全，过小则时间太长。当吸收液到达终点时(PH4.2 ~ 6.2，由红色变为黄色)立即关闭考克26，记下湿式流量计的流量、压降及空气温度。

(4) 实验完毕，关闭氨气时，务必先关氨钢瓶总阀1，然后才能关闭减压阀3。

(5) 停氨后，继续通入空气和水，将塔内残留氨洗净，避免填料表面结垢。

(6) 关闭空气和水。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.计算干填料以及一定喷淋量下湿填料在不同空塔气速下单位填料层高度的压强降，即 $\Delta P/Z[P\alpha/m]$ ，并在双对数坐标纸上作图，找出载点和泛点。
- 3.计算实验条件下（一定喷淋量及一定空塔气速）的总体积传质系数 K_{ya} 及气相总传质单元高度 H_{OG} 。



六、讨论题

1. 阐述干填料压降线和湿填料压降线的特征。
2. 比较液泛时单位高度填料层压强降和Eckert关联图数值是否相符，一般乱堆填料液泛时单位填料层高度的压强降为多少？
3. 填料吸收塔当提高喷淋量时，对X2、Y2有何影响？



化工原理实验

总传热系数的测定实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

1. 了解列管式换热器的基本结构。
2. 掌握总传热系数 K 的测定方法。



二、基本原理

换热器在化工生产中是常用的换热设备，热流体通过传热壁面将热量传给冷流体，以满足生产的要求。影响传热量的参数有传热面积、平均温度差和总传热系数，其中总传热系数 K 是评价换热器性能的重要指标之一，它对热量传递具有重要影响，在换热器的设计计算中有着十分重要的意义。总传热系数 K 值，一般有三个来源：一是选取经验值，二是实验测定，三是通过公式计算。

本实验是通过现场使用的列管式换热器进行测定。总传热系数 K 由传热基本方程式和热量衡算方程式求取。



热量衡算方程式:

$$Q_n = G_1 \cdot c_{p1} (T_1 - T_2)$$

$$Q_c = G_2 \cdot c_{p2} (t_2 - t_1)$$

$$Q_h = Q_c + Q_{\text{损}}$$

式中: c_{p1} 、 c_{p2} ——热、冷流体的平均定压比热容, $\text{J/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$

T_1 、 T_2 ——热流体的进、出口温度, $^\circ\text{C}$

t_1 、 t_2 ——冷流体的进、出口温度, $^\circ\text{C}$

如果换热器保温良好, $Q_{\text{损}}=0$, 则 $Q_n=Q_c=Q_{\text{传}}$

由于实验过程中存在着随机误差, 则换热器的传热速率为:

$$Q_{\text{传}} = Q = (Q_n + Q_c) / 2$$



由传热速率方程式： $Q = K \cdot A \cdot \Delta T_m$

可知，当Q及A确定后，即可通过下式计算总传热系数K值：

$$K = \frac{Q}{A \cdot \Delta T_m}$$

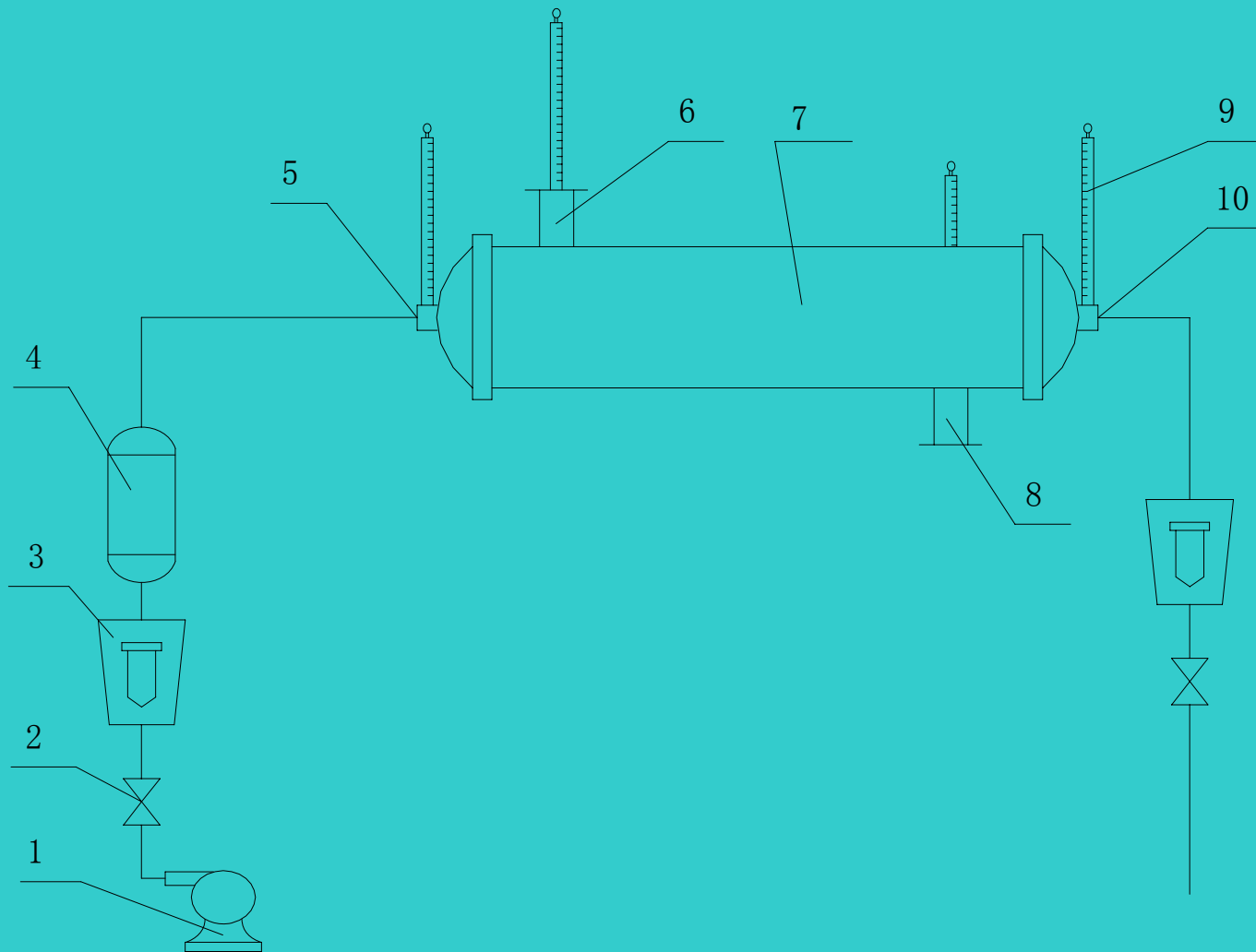
式中： K ——总传热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Q ——传热速率, W

A ——传热面积, m^2



三、实验装置及流程



1. 风机
2. 出口阀
3. 转子流量计
4. 空气加热器
5. 热空气进口
6. 热空气出口
7. 列管换热器
8. 热水出口
9. 温度计
10. 冷水进口

四、操作要点

1. 熟悉实验流程，了解列管式换热器的结构，检查各阀门的开关情况；
2. 打开冷水总阀，调整冷水流量到适当量；
3. 检查加热器的调压器是否在零位。接通空气压缩机电源，调整空气流量到适当值。然后再接通加热器电源，缓缓调整电压升高至150V左右，并控制热空气的温度在 $90^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，不得高于 100°C ，同时升温不宜过快；
4. 待冷水流量，空气流量及冷水、空气进出口温度稳定时（约需15分钟），记录下流量计及各温度计的读数。
5. 保持空气流量不变，加大冷水流量，待稳定后，记录有关数据。再保持冷水流量不变，加大空气流量，调整电压使热空气温度在 100°C 左右。待稳定后，记录有关数据。
6. 实验完毕。先将电压调整器缓缓调至零位，关闭加热器电源。待热空气温度降至 50°C 以下（大约5分钟）后再关闭空气压缩机电源，最后关闭冷水调节阀及总阀。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.计算出总传热系数K。



六、讨论题

1. 用热流体放热或冷流体吸热的速率来计算传热速率有何区别？对本实验装置，用哪种更准确？为什么？
2. 要提高总传热系数 K ，你认为有哪些途径？
3. 造成本实验测定误差的因素有哪些？可用什么方法改进而减少误差？



化工原理实验

传热膜系数的测定实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

1. 掌握传热膜系数的测定方法。
2. 通过实验掌握确定传热膜系数准数关联式中的系数A和指数m、n的方法。



二、基本原理

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:

$$Nu = A Re^m Pr^n Gr$$

对于强制湍流而言, Gr 准数可以忽略, 故:

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



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 。

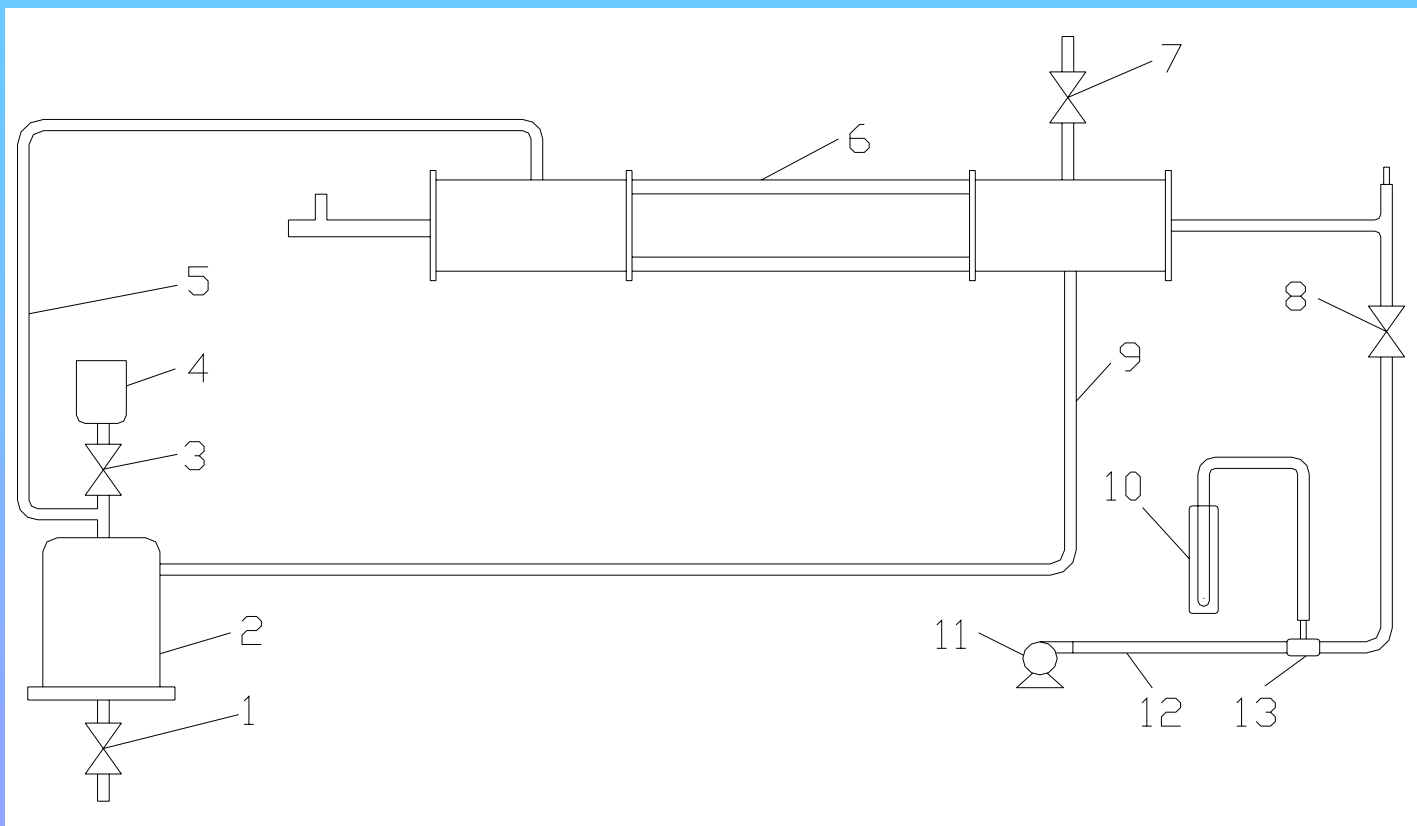
用图解法对多变量方程进行关联时，要对不同变量 Re 和 Pr 分别回归。本实验可简化上式，即取 $n=0.4$ （流体被加热）。这样，上式即变为单变量方程，再两边取对数，即得到直线方程：

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

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 m 、 n 。



三、实验装置及流程



- 1.排水阀
- 2.蒸汽发生器
- 3.补水阀
- 4.补水漏斗
- 5.蒸汽管
- 6.套管换热器
- 7.放气阀
- 8.空气流量调节阀
- 9.冷凝水回流管
- 10.压力传感器
- 11.风机
- 12.空气管
- 13.孔板流量计



四、操作要点

(1) 实验开始前，先弄清配电箱上各按钮与设备的对应关系，以便正确开启按钮；

(2) 检查蒸气发生器中水位，使其保持在水罐高度的 $1/2 \sim 2/3$ ；

(3) 打开总电源开关（红色按钮熄，绿色按钮亮，以下同），再打开数显仪开关，看其是否正常；

(4) 实验开始时，关闭蒸汽发生器补水阀，启动风机，并接通蒸汽发生器的加热电源，打开放气阀。

(5) 将空气流量控制在某一值，待数显仪中各个窗口中的数值稳定后，记录温度值和压差计读数，改变空气流量（8~10次），重复实验，记录数据。

(6) 实验结束后，先停蒸汽发生器电源，再停风机，清理现场。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.确定传热膜系数准数关联式中的系数A和指数m、n。



六、讨论题

1. 实验前，蒸汽发生器液位为什么要合适？
2. 为什么开风机前先开旁路阀至最大？



①

②

③

④

⑤

⑥

⑦

⑧



化工原理实验

恒压过滤实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

1. 在一定真空度下进行恒压过滤，测定其过滤常数 K 、 q_e 和 e 。
2. 改变压强测定压缩性指数 S 和物料特性常数 k
3. 加深对过滤操作中各影响因素的理解。



二、基本原理

过滤是将悬浮液中的固液两相有效地进行分离的一种常用的单元操作。在外力作用下，悬浮液中的液体通过介质的孔道而固体颗粒被截留下来。从而实现固液分离。因此，过滤在本质上是流体通过颗粒层的流动，所不同的仅仅是固体颗粒层厚度随着时间的延长而增加，因而在过滤压差不变的情况下，单位时间得到的滤液量也在不断下降，即过滤速度不断降低。



单位时间透过单位滤面积的滤液量称为过滤速度:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{dq}{d\theta} = u$$

式中: A ——过滤面积, m^2

θ ——过滤时间, s

V ——透过过滤介质的滤液体积量, m^3

$\frac{dq}{d\theta}$ ——过滤速度, m/s

影响过滤速度的主要因素有压强差, 滤饼厚度 L , 滤饼和悬浮液的性质, 悬浮液温度等。



过滤基本方程式的一般形式为：

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 \Delta P^{1-s}}{vr' \mu (V + V_e)}$$

式中： r' ——单位压强差下滤饼的比阻，m/kg

s ——滤饼的压缩指数，无因次。不可压缩的滤饼 $s=0$

V ——滤液量， m^3

V_e ——虚拟滤液量， m^3

v ——单位体积滤液对应的滤饼体积， m^3 滤饼/ m^3 滤液



恒压过滤时，对 $\frac{dV}{d\theta} = \frac{A^2 \Delta P^{1-s}}{vr' \mu (V + V_e)}$ 积分可得：

$$(q + q_e)^2 = K(\theta + \theta_e)$$

式中： q ——单位滤饼面积的滤液量， $q=V/A$ ， m^3/m^2

θ ——过滤时间， s

q_e 、 θ_e ——介质常数，反映过滤介质阻力大小

K ——滤饼常数，由物料特性及过滤压差所决定

$$K = 2k \cdot \Delta P^{1-s}$$

$$\text{其中 } k = \frac{1}{\mu r' v}$$

θ_e 、 q_e 、 K 三者总称为过滤常数。



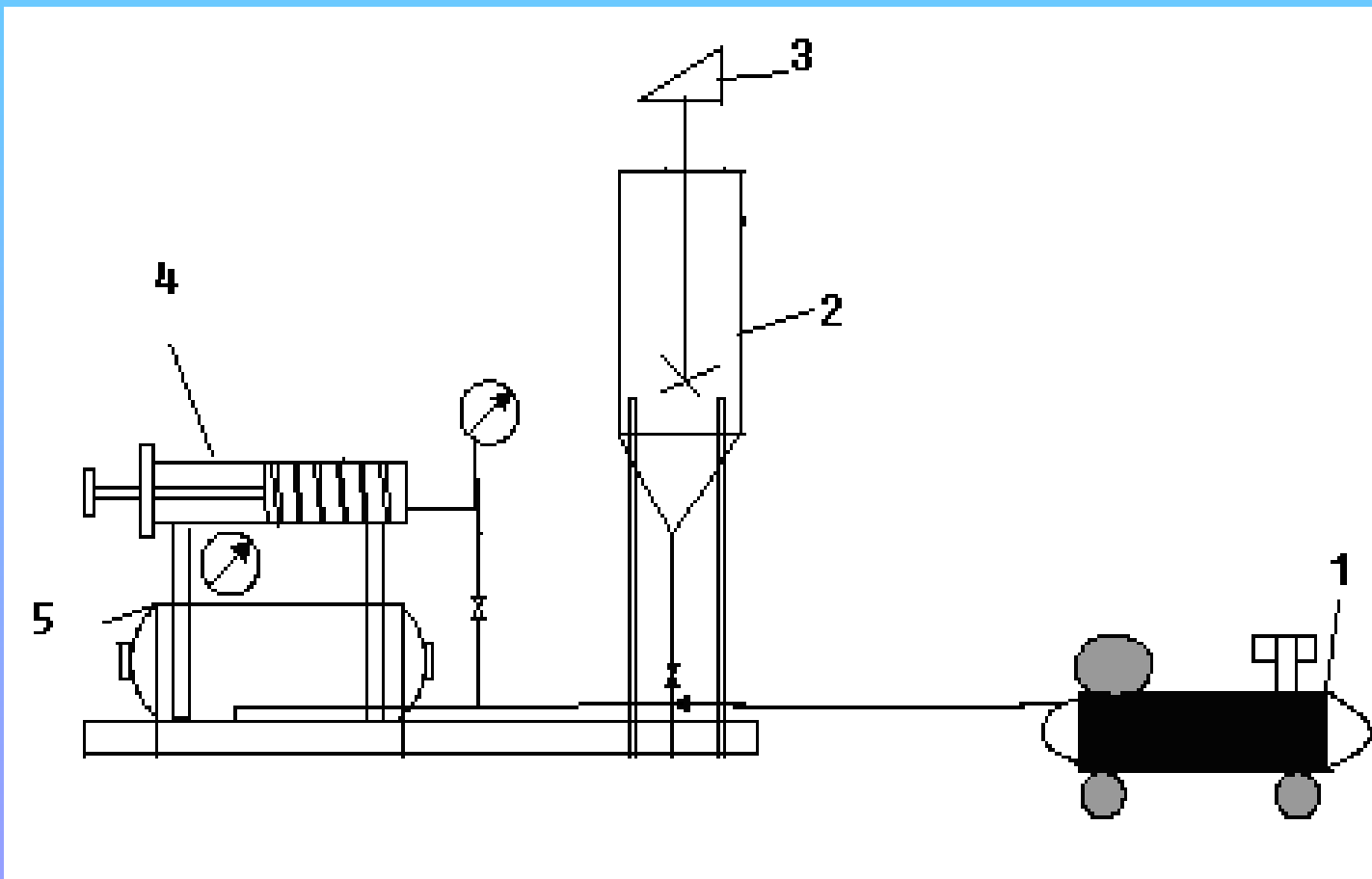
但实际上 K 和 q_e 只能在实验测定后，方程式才有实用价值，对式 $(q + q_e)^2 = K(\theta + \theta_e)$ 进行微分得：

$$\frac{d\theta}{dq} = \frac{2}{K}q + \frac{2}{K}q_e$$

为了便于根据测定的数据计算过滤常数，上式左端，以 $\frac{\Delta\theta}{\Delta q}$ 代之，在过滤面积 A 上对待测的悬浮液料浆进行恒压试验，测出一系列时的累计滤液量 V ，并由此计算一系列 q ，得到相应的与之值，在直角坐标系中标绘与 q 间的函数关系，得一直线。由直线的斜率和截距，可求得 K 和 q_e 。或将 $\frac{\Delta\theta}{\Delta q}$ 与 q 的数据用最小二乘法求取 $\frac{2}{K} + \frac{2}{K}q_e$ ，再用 $q^2 = K\theta_e$ ，求 θ_e 。



三、实验装置及流程



1. 压缩机
2. 配浆桶
3. 搅拌器
4. 板框压滤机
5. 储料罐



四、操作要点

1. 配制浓度约为10%的 CaCO_3 滤浆，为防止沉淀，应先启动搅拌浆适速搅拌。开启储料罐的空气振动阀，将配好的料浆放入储料罐中，其量约占储料罐的 $1/3 \sim 1/2$ 。

2. 装好板框压滤机。板和框的四角开有圆孔，操作前先将四角开孔的滤布盖于板和框的交界面上，旋转螺旋杆转动压紧板和框。

3. 开启压缩机1加压，使料浆压入板框过滤机进行过滤，刚开始实验时，宜先采用小的过滤压差进行实验。

4. 量筒中开始见到滤液的时刻作为恒压过滤的零时刻，然后用秒表记时，定时读取计量筒的液位值，并记录。待框内充满滤饼，即停止过滤，此时可根据需要，决定是否对滤饼进行洗涤。

5. 过滤完毕后，即松开螺旋，卸除滤饼，洗涤滤布，为下一

次过滤做好准备。

五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.由恒压过滤实验数据求 K ， q_e ， θ_e 的值。
- 3.比较几种压强差下过滤常数 K ， q_e ， θ_e 的值，讨论压差变化对以上数值的影响。
- 4.在对数坐标纸上标绘 $K \sim \Delta P$ 曲线求出 s 和 k 。
- 5.写出完整的过滤方程式，弄清其各参数的符号及物理意义。



六、讨论题

1. 当操作压强增加一倍，其K值是否也增加一倍？
要得到同样的滤液量，其过滤时间是否缩短了一半？
2. 过滤速率与过滤速度有何不同？
3. 粘度太大时欲增加过滤速率，可行的措施有哪些？



化工原理实验

离心泵性能实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

1. 熟悉离心泵的操作方法，了解离心泵的结构和性能。
2. 学会离心泵特性曲线的测定方法。



二、基本原理

泵是输送液体的设备，在选用泵时，一般总是根据生产要求的扬程和流量，参照泵的性能来决定的。对一定类型的泵来说，泵的性能参数主要是指在一定转速下，泵的流量、压头（扬程）、轴功率和效率等。

离心泵的性能可用特性曲线来表示，即压头和流量的关系曲线（ $H_1 \sim Q_1$ 曲线），轴功率和流量的关系曲线（ $N_{\text{轴}} \sim Q_1$ 曲线），效率和流量的关系曲线（ $\eta_{\text{泵}} \sim Q_1$ 曲线）。这一组关系曲线由实验测得。



1. 有效压头 H_e 的测定

实验时在泵的进、出口管上装有真空和压强传感器，在这两个测压点间列柏努利方程式可计算离心泵的压头。其计算式为：

$$H_e = \frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g} + h_0 + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$

式中： h_0 ——两测压传感器的垂直距离，m

p_1 ——真空表所处截面的绝对压力，MPa

p_2 ——压力表所处截面的绝对压力，MPa

u_1 、 u_2 ——泵进、出口管中液体的流速，m/s

当泵进、出口管径相同，且压力计和真空计安装在同一高度时，上式简化为：

$$H_e = \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$$



2. 轴功率 $N_{\text{轴}}$ 的测定

可用扭矩测功仪或马达-天平测功仪测定轴功率。

$$N_{\text{轴}} = \frac{2\pi \times 9.81}{60} p l n = \frac{p l n}{0.974}$$

式中： p ——测功臂水平（针尖对准星）时砝码质量，kg

l ——测功臂长，m，（ $l=0.4869\text{m}$ ）

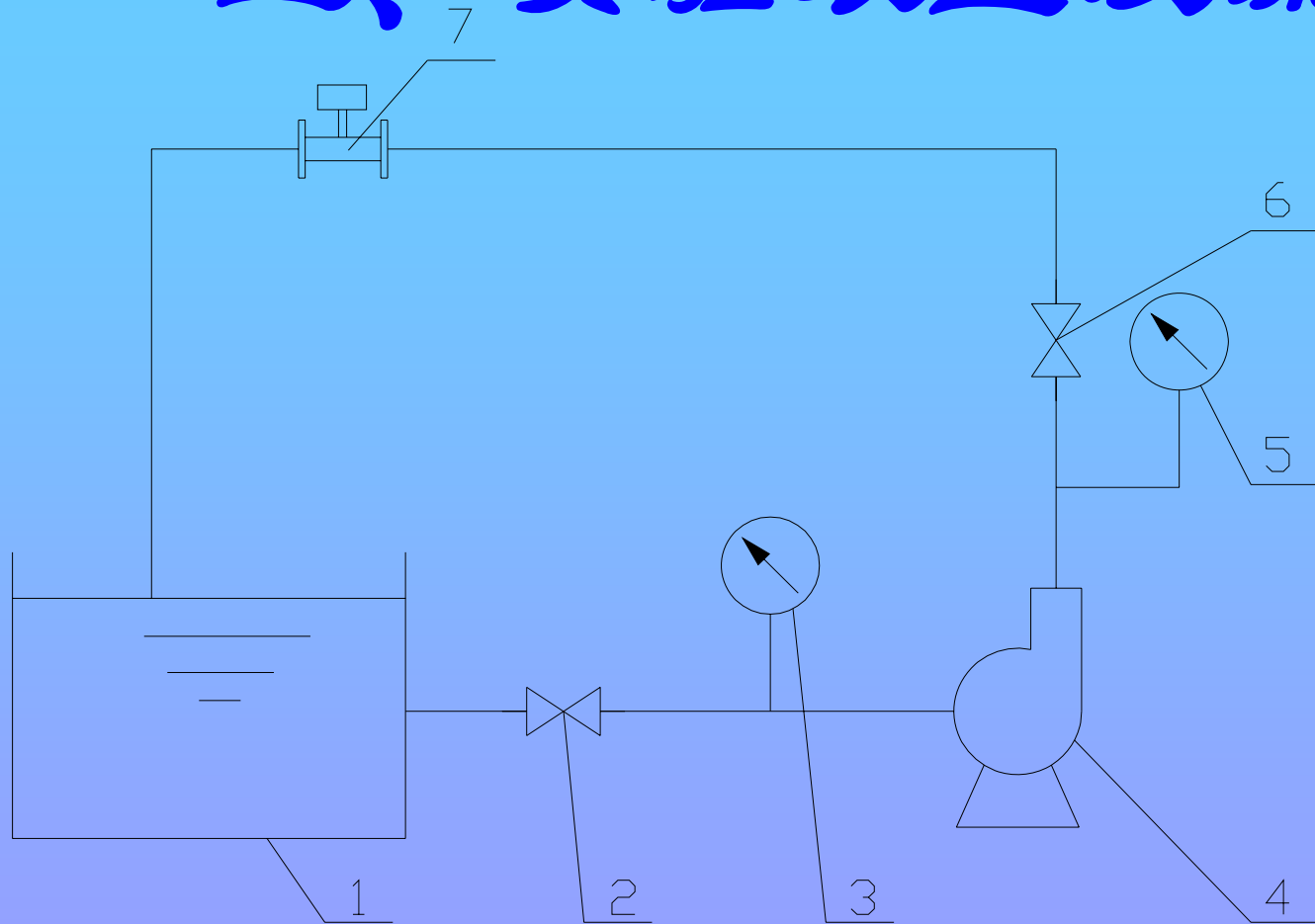
n ——电机每分钟转速，rpm

3. 离心泵效率的计算

$$\eta_{\text{泵}} = \frac{N_e}{N_{\text{轴}}} \quad N_e = \frac{H_e Q \rho}{102} [\text{kW}]$$



三、实验装置及流程



- 1.水槽
- 2.进水阀
- 3.进口真空计
- 4.离心泵
- 5.出口压力计
- 6.出口阀
- 7.涡轮流量计



四、操作要点

1. 开启各测试仪表的电源，校正仪表，关进水阀，开出口阀，引水灌泵排气。
2. 关闭泵出口调节阀，开启电源开关，泵运转后可挂砝码盘加砝码。
3. 从流量为零开始，由大到小取8组以上数据。
4. 流量从小到大，重复“3”的操作。
5. 将泵出口调节阀关闭后，断开电源开关，停泵。
6. 关闭各测试仪表。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据，计算实验结果。
- 2.在直角坐标纸上标绘离心泵在特定转速下的特性曲线： $H_e \sim Q_1$ 、 $N_{\text{轴}} \sim Q_1$ 、 $\eta_{\text{泵}} \sim Q_1$ 。
- 3.讨论实验现象和结果。



六、讨论题

1. 离心泵在启动前为什么要引水灌泵？
2. 为什么离心泵启动时要关闭出口阀？
3. 为什么离心泵的出口阀可用来调节流量？这种方法有什么优缺点？是否还有其它方法调节泵的流量？
4. 正常工作的离心泵，在其进口管上设阀门是否合理？为什么？
5. 为什么在离心泵进口管下安装底阀？从节能观点上看，底阀的装设是否有利？你认为如何改进？



化工原理实验

流体流动阻力的测定实验

湖南科技大学化学化工学院



一、实验目的及任务

1. 熟悉测定流体流经直管和管件的阻力损失的实验组织法与测定摩擦系数的工程意义。
2. 学会压差计、流量计使用方法，了解管路中管件、阀门及其作用。
3. 关联摩擦系数与雷诺准数、局部阻力系数与雷诺准数的关系。



二、基本原理

流体在管内流动时，由于粘性剪应力和涡流的存在，必然引起能量损耗。这种损耗包括流体流经管道的直管阻力和流经管件阀门等的局部阻力。

1、直管阻力摩擦系数 λ 的测定

流体在圆形直管内流动的阻力损失 h_f 为：

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2}$$

$$\lambda = \frac{2\Delta p d}{l \rho u^2}$$



式中： l —直管长度，m

d —直管内径，m

Δp —流体流经直管的压降，Pa

u —流体平均流速，m/s

ρ —流体密度，kg/m³

μ —流体的粘度，Pa.s

2、局部阻力系数 ζ 的测定

流体流经管（阀）件的阻力损失为：

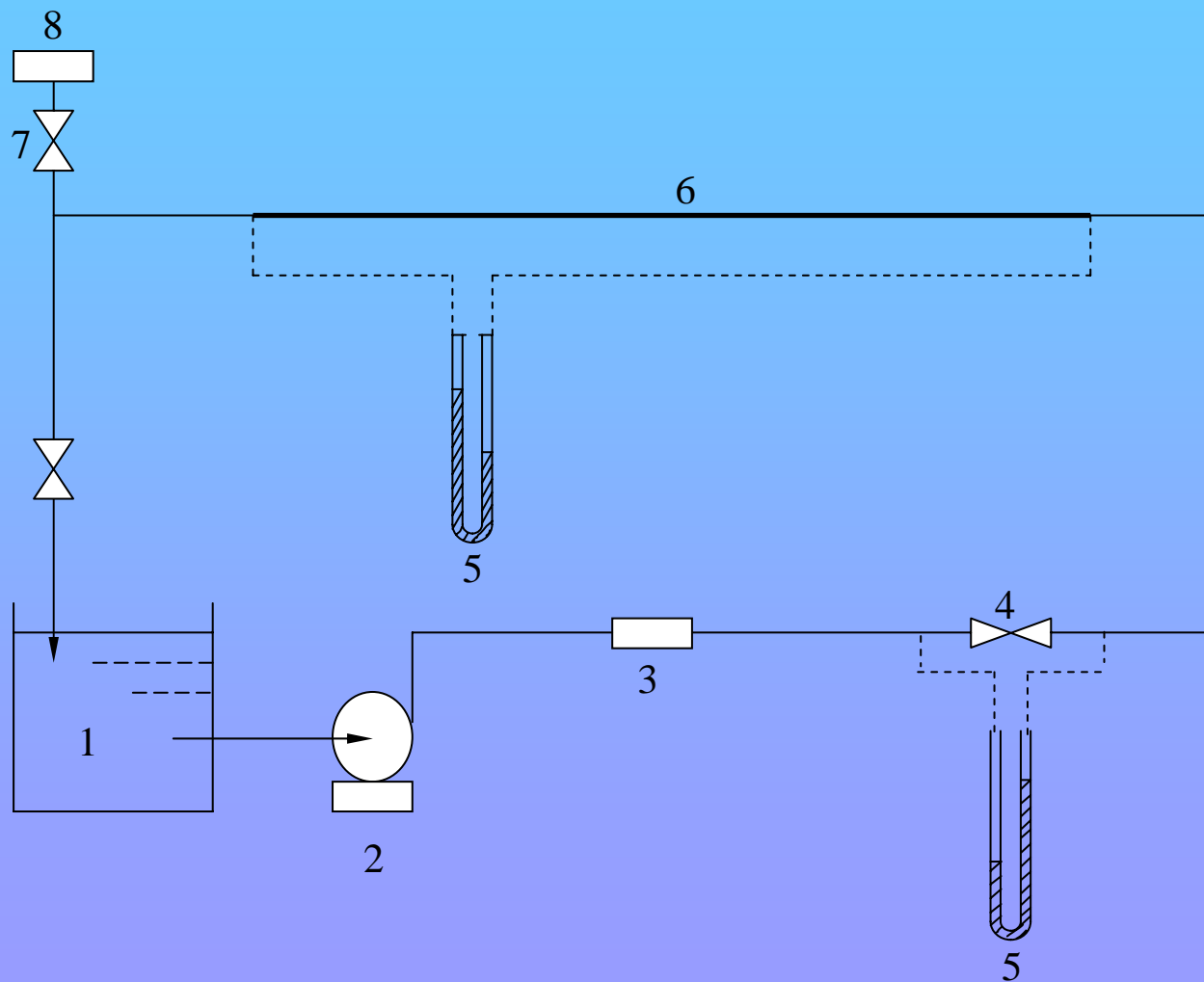
$$h_f' = \frac{\Delta p}{\rho} = \zeta \frac{u^2}{2} \quad \zeta = \Delta p \frac{2}{u^2 \rho}$$

式中： ζ —局部阻力系数

Δp —局部阻力压强降



三、实验装置及流程



- 1.水槽
- 2.离心泵
- 3.流量计
- 4.阀
- 5.压力传感器
- 6.测量直管段
- 7.进水总阀
- 8.水槽



四、操作要点

1. 看懂阻力实验原理图。熟悉现场指定的待测直管和管阀件，开启该支线进口阀，关闭其他支线进口阀。选择进行实验的管路，打开其两端的阀门，同时关闭其余管路两端阀门。
2. 打开各U形管压差计上的平衡阀及相应的测压阀。
3. 转动泵轴，看其松紧是否正常。
4. 打开管路末端出口阀，关闭泵出口阀。
5. 开启泵电源开关，若泵的转动正常，此时就可以送液。（注意在泵出口阀关闭的情况下，泵转动不可过久，以防其发热损坏）。
6. 逐渐打开出口阀，至流量达到接近满量程为止，然后关闭管路末端出口阀。（开泵出口阀时动作不宜过急，以防U形管中的水银冲出）。



7. 如果测压导管内有气泡，由U形管压差计上端的放气旋塞排除。

8. 关闭平衡阀，准备测取数据；用管路出口阀调节流量，每次稳定3分钟左右读取5次平均数据，在大流量范围内取12组左右数据。注意阀的开度，要合理分割流量，进行实验布点。在达到允许的最大流量后，将调节阀逐渐关小，重复1的操作。

9. 改测另一条管路；打开第二条管路两端的阀门及相应的测压阀，关小主管管路两端的阀门。重复9的操作。

10. 关闭泵出口调节阀，停泵。打开管路出口阀排除管路内的积水。打开U形管压差计上的平衡阀，关闭测压阀及流量指示仪，做好清洁工作。



五、报告要求

- 1.按实验记录整理实验数据。
- 2.根据测量数据，计算 Re 、 λ 、 ζ ，并在双对数坐标纸上绘出 $Re \sim \lambda$ 、 $Re \sim \zeta$ 的曲线图
- 3.根据实测数据计算管件的局部阻力系数的平均值、标准误差。



六、讨论题

1. 为了测定摩擦系数和局部阻力系数，需要什么仪器仪表？要测定哪些数据？如何处理数据？简述所用流量计、差压计的原理及优缺点？
2. 不同管径、不同水温下测定 $Re \sim \lambda$ 、 $Re \sim \zeta$ 数据能否关联到一条曲线上，为什么？
3. 以水作工作体系测定的 $Re \sim \lambda$ 、 $Re \sim \zeta$ 曲线，能否用来计算空气在管内的流动阻力？

