

4
B 高等学校实验课程教材

HuaGong
YuanLi
ShiYan

丁楠 吕树申 编著

化工原理实验



高等学校实验课程教材

化工原理实验

丁楠 吕树申 编著

中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理实验/丁楠, 吕树申编著. —广州: 中山大学出版社, 2008. 6
高等学校实验课程教材
ISBN 978 - 7 - 306 - 03078 - 8

I. 化… II. ①丁… ②吕… III. 化工原理—实验—高等学校—教材 IV. TQ02 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 046359 号

出 版 人: 叶侨健

策划编辑: 李 引

责任编辑: 李 文

封面设计: 曹巩华

责任校对: 吴 燕

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: zdcbs@mail.sysu.edu.cn

印 刷 者: 中山大学印刷厂

规 格: 787mm × 960mm 1/16 8 印张 168 千字

版次印次: 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

本书如有印装质量问题影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

前 言

化工原理实验属于工程实验范畴,它不同于基础课程的实验。与一般化学实验相比,不同之处在于它具有工程特点。每个实验项目都相当于化工生产中的一个操作单元,通过实验能建立起一定的工程概念。同时,随着实验课的进行,会遇到大量的工程实际问题,对理工科学生来说,可以在实验过程中更实际、更有效地学到更多工程实验方面的原理及测试手段,可以发现复杂的真实设备与工艺过程同描述这一过程的数学模型之间的关系,也可以认识到对于一个看起来似乎很复杂的过程,一经了解,可以只用最基本的原理来解释和描述。因此,它要求学生运用已学过的知识验证一些结论、结果和现象等,或综合运用已学过的理论知识设计实验或进行综合性的实验,目的是训练学生理论知识的运用能力、实验操作能力、仪器仪表的使用能力、实验数据的处理和分析能力。在实验课的全过程中,学生在思维方法和创新能力方面都将得到培养和提高。

为了适应本校不同专业的教学要求,我们除了开设典型的单元操作实验之外,还增加了专业实验及综合创新实验。单元操作实验包括雷诺实验、伯努利方程实验、管内流动阻力实验、泵性能实验、传热综合实验、热电偶温度测量原理实验、乙醇-水精馏塔实验、流化床干燥实验和氨气吸收实验,即本书第一章的内容。第二章是专业实验,包括:非、准稳态测量导热系数,热管换热器实验,液液传质系数实验(陈振兴编写),共沸精馏制备无水乙醇(张建辉编写),超滤膜分离实验(陈卫国编写),固定床吸附、脱附流出曲线的测定,微机控制微型催化反应加压实验和乙苯脱氢制苯乙烯实验。第三章是综合创新实验,包括:水性木器涂料的制备与性能测试(王小妹编写),活性碳纤维制备及其吸附性能表征(陈水扶编写),用亚临界二氧化碳从椰子肉中提取椰子油的研究(陈六平编写)和精馏操作工业中型实验(欧阳钢锋编写)。

我们建议学生在做实验之前认真阅读本书相关的内容及有关参考资料,了解实验目的和要求。然后进行实验室现场预习,了解实验装置,搞清实验流程,并写出实验的预习报告。之后,再进行实际的实验操作。

由于时间仓促,本书中难免出现这样或那样的错误,希望得到大家的指正。

丁楠 吕树申
2008年5月于康乐园

目 录

第一章 化工基础实验

实验一	雷诺实验	(1)
实验二	伯努利方程实验	(4)
实验三	管内流动阻力实验	(7)
实验四	泵性能实验	(10)
实验五	传热综合实验	(14)
实验六	热电偶温度测量原理实验	(26)
实验七	乙醇-水精馏塔实验	(31)
实验八	流化床干燥实验	(36)
实验九	氨气吸收实验	(43)

第二章 化工专业实验

实验十	非、准稳态法测量导热系数	(49)
实验十一	热管换热器实验	(57)
实验十二	液液传质系数实验	(60)
实验十三	共沸精馏制备无水乙醇	(64)
实验十四	超滤膜分离实验	(67)
实验十五	固定床吸附、脱附流出曲线的测定	(74)
实验十六	微机控制微型催化反应加压实验	(82)
实验十七	乙苯脱氢制苯乙烯实验	(87)

第三章 化工综合创新实验

实验十八	水性木器涂料的制备与性能测试	(93)
------	----------------------	------

实验十九	活性炭纤维制备及其吸附性能表征	(106)
实验二十	用亚临界二氧化碳从椰子肉中提取椰子油的研究	(111)
实验二十一	精馏操作工业中型实验	(116)

第一章 化工基础实验

实验一 雷诺实验

一、实验目的

1. 观察流体流动时各种流动型态；
2. 观察层流状态下管路中流体速度分布状态；
3. 测定流动型态与雷诺数 Re 之间的关系及临界雷诺数值。

二、实验原理概述

流体在流动过程中有两种截然不同的流动状态，即层流和湍流。它取决于流体流动时雷诺数 Re 值的大小。

雷诺数：

$$Re = d\rho u/\mu$$

式中：

d ——管子内径，m；

ρ ——流体密度， $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；

u ——流体流速， $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

μ ——流体粘度， $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

实验证明，流体在直管内流动时，当 $Re \leq 2000$ 时属层流；当 $Re \geq 4000$ 时属湍流；当 Re 在两者之间时，属过渡流。

流体于某一温度下在某一管径的圆管内流动时， Re 值只与流速有关。本实验中，水在一定管径的水平或垂直管内流动，若改变流速，即可观察到流体的流动型态及其变化情况，并可确定层流与湍流的临界雷诺数值。

三、装置和流程

本实验装置流程图如图 1-1 所示。

水由高位槽 1 流经玻璃管 2，经阀 5 和流量计 6，然后排入地沟。示踪物（墨水）由墨水瓶 3 经阀 4 进入玻璃管 2，与水一起流动并排至地沟。装置中的玻璃管 2 不论是垂直或水平安装，其实验原理和实验结果都是相同的。

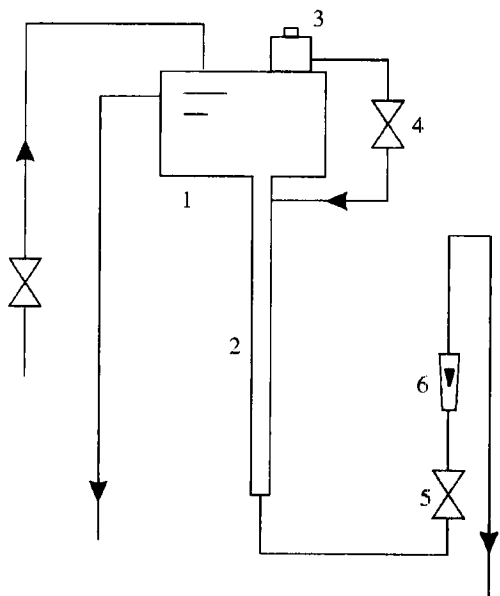


图 1-1 雷诺实验装置流程

1—高位槽；2—玻璃管；3—墨水瓶；4、5—阀；6—流量计

四、操作步骤

1. 打开水管阀门。
2. 慢慢打开调节阀 5，使水徐徐流过玻璃管。
3. 打开墨水阀 4。
4. 微调阀 5，使墨水成一条稳定的直线，并记录流量计的读数。
5. 逐渐加大水量，观察玻璃管内水流状态，并记录墨水线开始波动以及墨水与清水全部混合时的流量计读数。
6. 再将水量由大变小，重复以上观察，并记录各转折点处的流量计读数。
7. 先关闭阀 4、5，使玻璃管内的水停止流动。再开墨水阀，让墨水流出 1~2cm 距离再关闭阀 4。
8. 慢慢打开阀 5，使管内流体作层流流动，可观察到此时的速度分布曲线呈抛物线状态。

五、实验数据记录和处理

水温： 水的密度： 水的粘度： 管径：30mm × 2.5mm

序号	流量计读数	流速	雷诺数	流动状态
1				
2				
3				
4				
5				

六、讨论

1. 如果生产中无法通过直接观察来判断管内的流动状态，你可以用什么方法来判断？
2. 用雷诺数 Re 判断流动状态的意义何在？
3. 影响流体流动类型的因素有哪些？

实验二 伯努利方程实验

一、实验目的

1. 熟悉流体流动中各种能量和压头的概念及其相互转化关系，加深对伯努利方程的理解。
2. 观察各项能量（或压头）随流速的变化规律。

二、基本原理

不可压缩流体在管内作稳定流动时，由于管路条件的变化，会引起流动过程中三种机械能（位能、动能、静压能）的相应改变及相互转换，对于理想流体，在系统内任一截面处，虽然三种能量不一定相等，但是能量之和是守恒的。而对于实际流体，由于存在内摩擦，流体在流动中总有一部分机械能随摩擦和碰撞转化为热能而损耗了。所以对于实际流体，任意两截面上机械能总和并不相等，两者的差值即为机械能损失。

$$Z_1 + \frac{\rho_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{\rho_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum H_f$$

以上三种机械能均可用测压管中的液柱高度来表示，分别称为位压头、静压头、动压头。当测压直管中的小孔与水流方向垂直时，测压管内液柱高度即为静压头；当测压孔正对水流方向时测压管内液柱高度则为静压头和动压头之和。测压孔处流体的位压头由测压孔的几何高度确定。任意两截面间位压头、静压头、动压头总和的差值，则为损失压头。

三、装置与流程

装置与流程如图 2-1 所示。

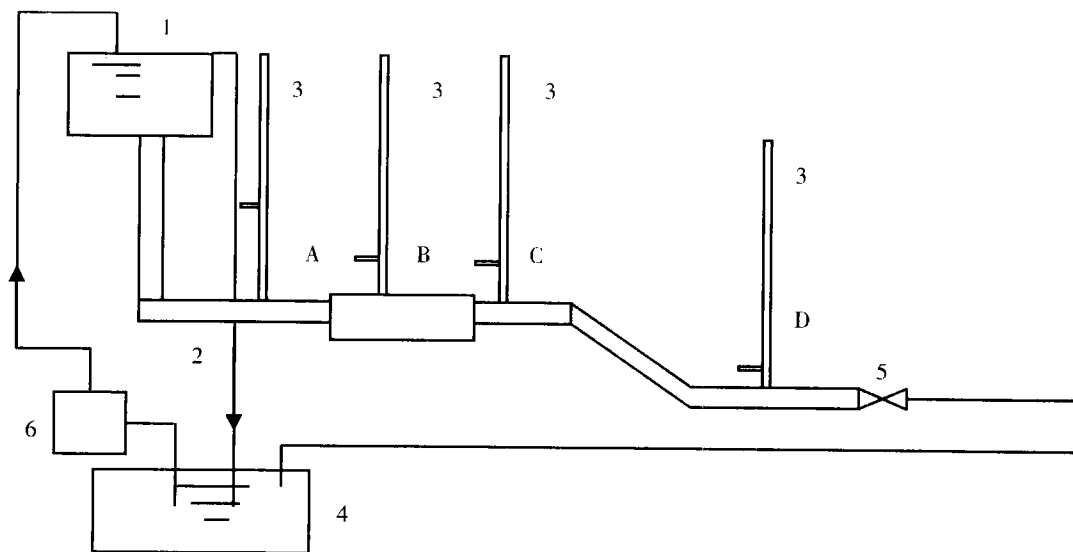


图 2-1 装置与流程

1—高位水槽；2—玻璃管；3—测压管；4—循环水槽；5—阀门；6—循环水泵

四、操作步骤

1. 关闭阀 5，启动循环泵 6，旋转测压孔，观察并记录各测压管中液柱高度 h 。
2. 将阀 5 开启到一定大小，观察并记录测压孔正对和垂直于水流方向时，测压管中心的液柱高度 h' 和 h'' 。
3. 继续开大阀 5，测压孔正对水流方向，观察并记录测压管中液柱高度 h''' 。
4. 在阀 5 开到一定时，用量筒、秒表测定液体的体积流量。

五、实验数据记录与处理

序号	操作		液柱高度	A/mm	B/mm	C/mm	D/mm
	阀5	测压孔方向					
1	关	旋转各方向	h				
2	开	垂直水流方向	h'				
3	保持一定开度	正对水流方向	h''				
4	再开大	同上	h'''				

体积流量测定				流速计算			
序号	体积/ml	时间/s	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	测压点	动压头/m	平均流速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	点流速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1							
2							
平均							

六、问题讨论

1. 关闭阀5时, 各测压管内液位高度是否相同? 为什么?
2. 阀5开度一定时, 转动测压头手柄, 各测压管内液位高度有何变化? 变化的液位表示什么?
3. 同题2条件, A、C两点及B、C两点的液位变化是否相同? 这一现象说明什么?
4. 同题2条件, 为什么可能出现B点液位大于A点液位?
5. 阀5开度不变, 且各测压孔方向相同, A点液位 h , 与C点液位高度 h_c 之差表示什么?

实验三 管内流动阻力实验

一、实验目的

1. 了解流动阻力的测定方法，测定某一管径（粗糙度 ε 为定值）下摩擦系数 λ 与 Re 的关系；
2. 测定局部阻力系数 ξ （略）。

二、原理概述

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直管的沿程阻力和流经管阀件的局部阻力。本次实验只是测定直管阻力摩擦系数 λ 。

流体在圆形直管内流动的阻力损失 h_f 为

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

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

$$Re = \frac{du\rho}{\mu}$$

式中：

l ——直管长度，m；

d ——管内径，m；

ΔP_f ——流体流经 1m 直管的压降，Pa；

u ——流体平均流速， $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

ρ ——流体密度， $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；

μ ——流体粘度， $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

由上式可知，欲测定 λ ，需知道 l 、 d ，测定 ΔP_f 、 u 、 ρ 、 μ 等。

l 与 d 因实验装置而异，由现场实测。 l 为两测压点的距离。

欲测定 ρ 、 μ ，只需测流体温度，再查有关手册。

欲测定 u ，需先测定流量，再由管径计算流速。常用的流量计有孔板流量计、文丘里流量计、转子流量计和涡轮流量计。

ΔP_f 可用 U 型管、倒置 U 型管、测压直管等液柱压差计测定。采用 U 型管压差计时， λ 可用下式表达：

$$\lambda = \frac{2d}{\rho l u^2} \Delta P_f = \frac{2d}{\rho l u^2} (\rho_0 - \rho) g R$$

根据实验数据和上述公式,即可计算出不同流速下的直管阻力摩擦系数 λ 和对应的雷诺数 Re ,从而得出摩擦系数与雷诺数之间的关系,绘出 λ 与 Re 的关系曲线。

三、实验装置与流程

阻力实验装置大同小异。测定流体阻力的基本流程如图 3-1 所示。水的循环路径是:经泵 2 把水从水箱中泵出、流经直管 4、管(阀)件 5 再流回水箱。改变流量,利用压差计 6 测定直管 4 与管件 5 的压差,即可得到一组原始数据。

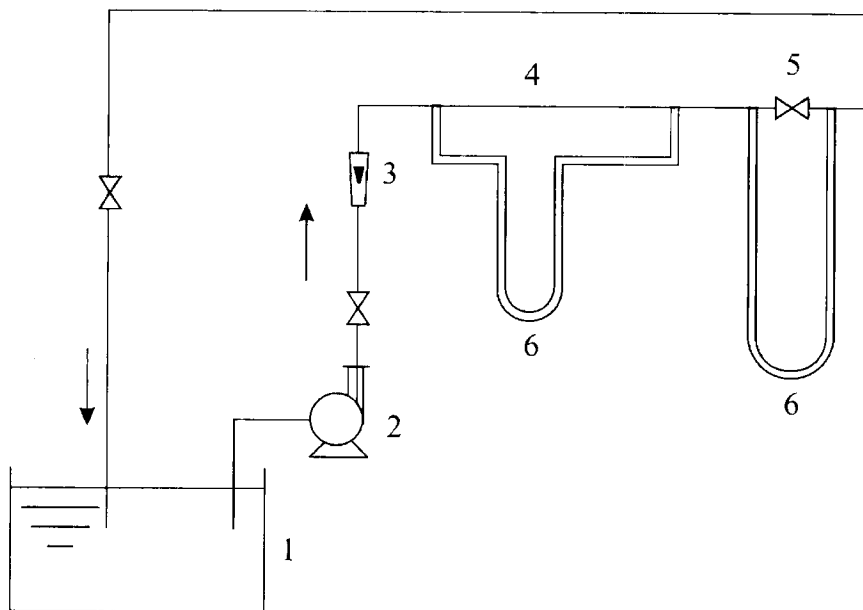


图 3-1 管内流动阻力实验装置

1—水箱; 2—水泵; 3—转子流量计; 4—直管; 5—管件; 6—压差计

四、操作步骤

1. 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;
2. 启动离心泵;
3. 排气;
4. 数据测取;

5. 停机。

五、实验数据记录及处理

$$T = 25.5^{\circ}\text{C};$$

$$\rho = 997.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

$$\mu = 0.8937 \text{ mPa} \cdot \text{s};$$

$$d = 40 \text{ mm};$$

$$V = 0.04855 \times 1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

序号	流量计示 值 $\times 5/\mu\text{A}$	直管阻力型差压计, mm 柱			ΔP_f	u	$\lambda \times 10^3$	$Re \times 10^{-4}$
		左	右	R				
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

五、问题讨论

1. 为了测定摩擦系数, 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、差压计的原理及优点。
2. 为什么要进行排气操作, 如何排气? 为什么错误的操作会将 U 型管中的水银冲走?
3. 以水为工作流体测定的 $\lambda - Re$ 曲线, 能否用来计算空气在管内的流动阻力? 为什么?

实验四 泵性能实验

一、实验目的

1. 了解离心泵的构造与特性，掌握离心泵的操作方法；
2. 测定并绘制离心泵在恒定转速下的特性曲线。

二、实验原理概述

离心泵的扬程 H_e 、轴功率 N 、效率 η 与流量 Q 之间的对应关系，若以曲线 $H_e \sim Q$ 、 $N \sim Q$ 、 $\eta \sim Q$ 表示，则称为离心泵的特性曲线，这可由实验测定。

实验时，在泵出口阀全关至全开的范围内，调节其开度，测得一组流量及对应的压头、轴功率和效率，即可测定并绘制离心泵的特性曲线。

泵的扬程 H_e 由下式计算：

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

而泵的有效功率 N_e 与泵效率 η 的计算式为：

$$N_e = QH_e \rho g \quad \eta = N_e / N$$

测定时，流量 Q 可用涡轮流量计或孔板流量计来计量。轴功率 N 可用马达 - 天平式测功器或功率表来测量。

离心泵的性能与其转速有关。其特性曲线是某一恒定的给定转速 n_1 （一般有 $n_1 = 2900 \text{ r/min}$ 或 $n_1 = 1450 \text{ r/min}$ 两种）下的性能曲线。因此，如果实验中的转速 n 与给定转速 n_1 有差异，应将实验结果换算成给定转速下的数值，并以此数值绘制离心泵的特性曲线。

当 $\frac{|\Delta n|}{n} = \frac{|n_1 - n|}{n} < 20\%$ 时，换算公式如下：

$$Q_1 = Q \frac{n_1}{n}; \quad H_{e1} = H_e \left(\frac{n_1}{n}\right)^2; \quad N_1 = N \left(\frac{n_1}{n}\right)^3; \quad \eta_1 = \frac{Q_1 H_{e1} \rho g}{N_1}$$

三、装置与流程

装置与流程如图 4-1 所示。

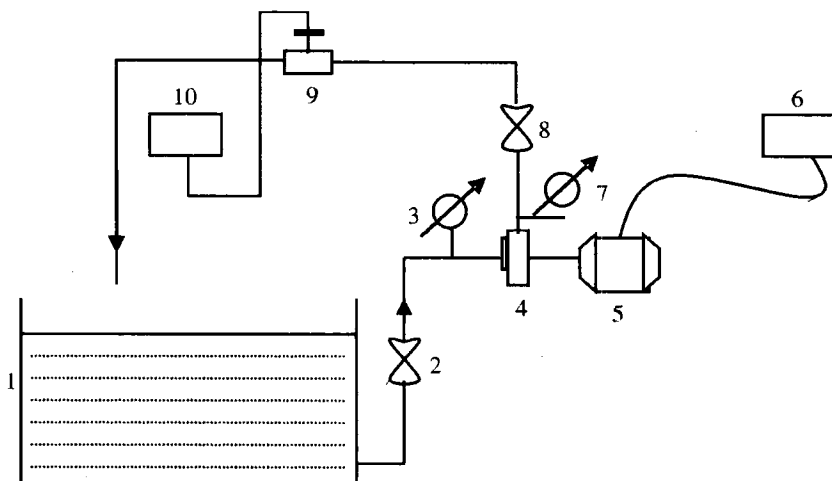


图 4-1 泵性能装置与流程

1—水箱；2—进口阀；3—真空计；4—离心泵；5—电机；
6—功率测定器；7—压力表；8—出口阀；9—涡轮流量计；10—流量计表盘

四、操作步骤

1. 熟悉实验装置及仪器仪表等设备。
2. 做好启动泵前的准备工作；用手动方式检查离心泵能否转动，关闭泵进口阀，打开泵出口阀并给泵灌水，待泵内排尽气体并充满水后，再关闭泵出口阀。
3. 启动离心泵，全开泵进口阀，并逐渐打开离心泵出口阀以调节流量。在操作过程稳定条件下，在流量为 0 和最大值之间，进行 8 次测定。在每次测定流量时，应同时记录流量计、转速表、真空计、压力表、功率测定器示值。
4. 数据取全后，先关闭泵出口阀，再停泵。

五、实验数据记录和处理

$$V = 0.04855 \times I \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1},$$

$$d = 40 \text{ mm} \quad l = 2 \text{ m}$$

$$h_0 = 0.1 \text{ m} \quad L = 0.4869 \text{ m}$$