



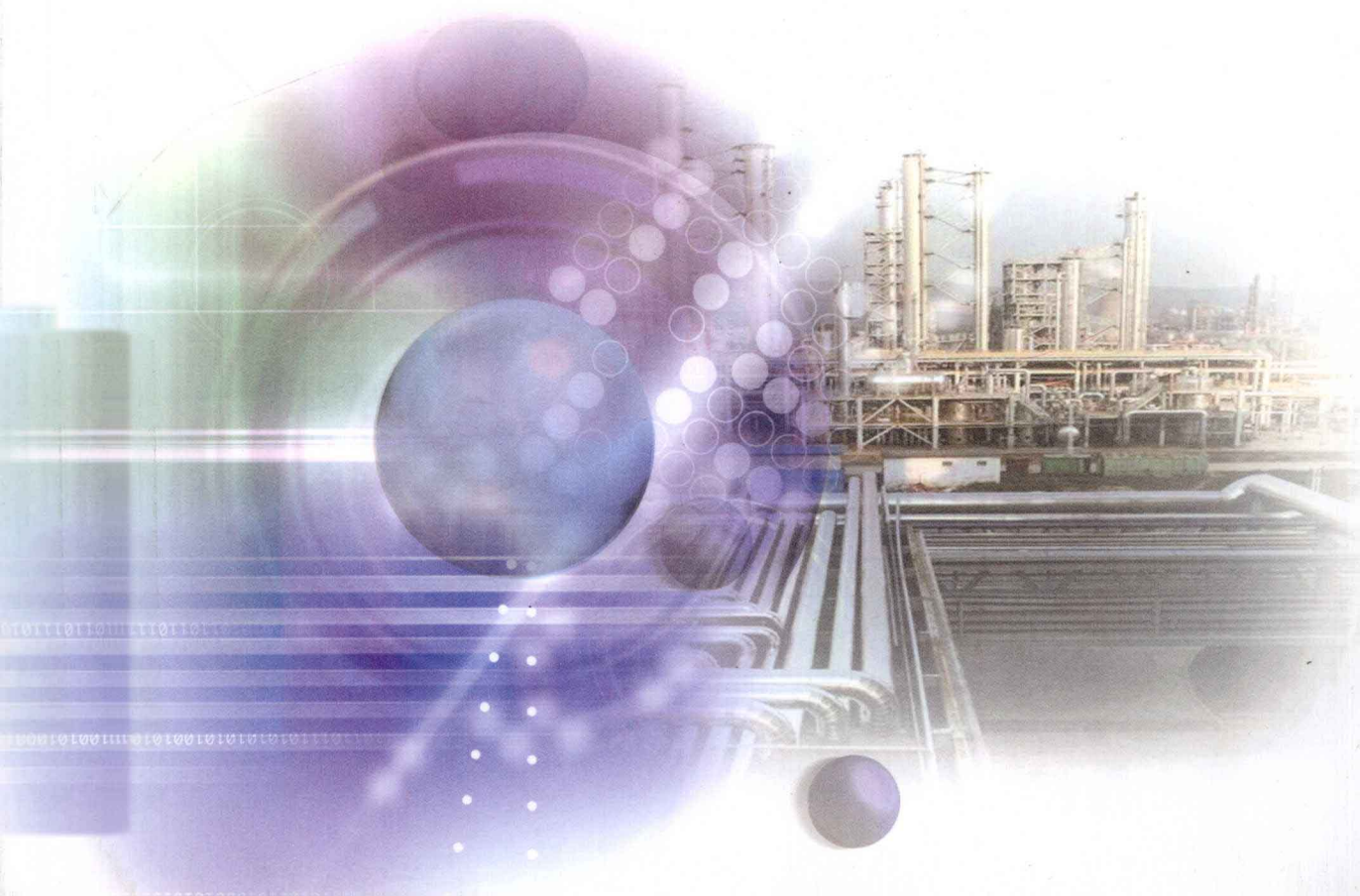
高等教育“十二五”规划教材

化工原理 实验

Huagong Yuanli Shiyan

黄念东 主编

中国矿业大学出版社



内 容 提 要

本书为化工原理实验教材,内容包括:绪论、流体机械能守恒与转化实验、流线演示实验、雷诺实验、流体流动阻力的测定实验、离心泵特性曲线的测定实验、非均相物系分离实验、恒压过滤参数的测定实验、传热膜系数测定实验、总传热系数的测定实验、板式精馏塔的操作与效率的测定实验、填料精馏传质实验、吸收与填料塔吸收水力学实验、振动筛板萃取实验、空气循环干燥实验。该书可作为化学工程与工艺、化学、应用化学、制药工程、环境工程、生物化工、材料化学等专业的实验教材,亦可作为相关专业工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验 / 黄念东主编. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012. 4

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1435 - 5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 061343 号

书 名 化工原理实验
主 编 黄念东
责任编辑 周 红
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 7.25 字数 181 千字
版次印次 2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷
定 价 16.80 元
(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

化工原理是一门工程应用学科,它利用自然科学的原理来考察、研究化工单元操作中的实际问题,研究强化过程的方法,寻找开发新技术的途经。化工原理课程要求理论联系实际,其发展离不开实验研究与数学模型分析。化工原理实验的任务是通过对化工原理常用实验技术方法和主要实验仪器设备的实验操作训练,使学生进一步理解和掌握化工原理的基本概念、基础知识、基本理论和方法,掌握化工原理主要实验仪器设备的调试和使用方法,掌握化工原理常用实验技术方法的基本原理和操作技术,掌握实验数据获取与处理、实验结果分析与讨论、实验报告编写的方法和手段,使学生在思维方法和创新能力方面都得到培养和提高,为今后的工作打下坚实的基础。

为此,根据化工原理及其实验课程教学大纲的规定,本教材编写了常见化工单元操作实验,以简洁的篇幅对实验目的、实验基本原理、实验装置与流程、实验操作要点进行了论述,提出了实验报告的数据记录与处理要求,并提供了适量的课后思考题以便加深学生对实验的理解。

本教材结合了实验室现有条件,在湖南科技大学化学化工学院化工系全体教师多年教学讲义的基础上编写而成,书中还借鉴了国内各兄弟院校同类教材的经验,为免繁冗,参考文献中未有一一列出,在此一并表示感谢。本教材的出版得到了湖南科技大学教务处的专项资助,特此致谢。

参加本教材编写的老师有湖南科技大学黄念东、刘和秀、胡忠于、罗娟、李友凤和长沙环保职业技术学院欧阳振中等,由于编者学识有限,书中不妥之处,恳请读者指正。

编者

2011年11月

目 录

绪 论	1
实验一 流体机械能守恒与转化实验	7
实验二 流线演示实验	10
实验三 雷诺实验	12
实验四 流体流动阻力的测定实验	15
实验五 离心泵特性曲线的测定实验	19
实验六 非均相物系分离实验	23
实验七 恒压过滤参数的测定实验	25
实验八 传热膜系数测定实验	28
实验九 总传热系数的测定实验	32
实验十 板式精馏塔的操作与效率的测定实验	35
实验十一 填料精馏传质实验	39
实验十二 吸收与填料塔吸收水力学实验	42
实验十三 振动筛板萃取实验	48
实验十四 空气循环干燥实验	51
参考目录	54

绪 论

化工原理是化学工程与工艺、化学、应用化学、制药工程、环境工程、生物化工、材料化学等专业的重要专业基础技术课程,也是一门实践性很强的课程。它的许多理论与技术都直接为化学工业生产和科学研究所应用。它的历史悠久,已形成了完整的教学内容与教学体系。化工原理中所涉及的理论和计算方法是与实验研究紧密联系的。可以说,化工原理课是建立在实验基础上的学科,化工原理实验在这门课程中占有很重要的地位,是同学们巩固理论知识、获取新知识的重要途径。

长期以来,化工原理实验常以验证课堂理论为主,教学安排上也仅作为化工原理课程的一部分。近几十年来,化学工程、石油化工、材料化学、生物工程的飞速发展,要求研制新材料、寻找新能源、开发高科技产品,对化工过程与设备的研究提出了更高的要求,新型高效率低能耗的化工设备的研究也更为迫切。不少高等院校为了适应新形势的要求,加强了学生实践环节的教育,以培养有创造性和独立工作能力的科技人才。

一、化工原理实验的教学目的

化工原理实验课是化工类专业教学计划中的一门必修课,其教学目的是:

1. 巩固和深化理论知识

化工原理课程中所讲授的理论,学生对它们的理解往往是肤浅的,对于各种影响因素的认识还不很深刻。当学生做了化工原理实验后,对于基本原理的理解,公式中各种参数的来源及使用范围会有更深入的认识。

2. 培养学生从事实验研究的能力

理工科高等院校的毕业生,必须具有一定的实验研究能力。实验研究能力主要包括:为了完成一定的研究课题,具有设计实验方案的能力;进行实验,观察和分析实验现象的能力;正确选择和使用测量仪表的能力;利用实验的原始数据进行数据处理以获得实验结果的能力;运用文字正确表达技术报告的能力。这些能力是进行科学研究的基础,学生只有通过一定数量的基础实验与综合实验练习,经过反复训练才能掌握各种实验能力,通过实验课打下一定的基础,将来参加实际工作就可独立地设计新实验和从事科研与开发。

3. 培养实事求是、尊重科学、严肃认真的学习态度

实验研究是实践创新性很强的工作,对从事实验者的要求很高。化工原理实验要求学生具有一丝不苟的工作作风和严肃认真的工作态度,从实验操作、现象观察到数据处理等各个环节都不能丝毫马虎。如果粗心大意,敷衍了事,轻则实验数据不好,得不出什么结论,重则会造成设备故障甚至人身事故。

总之,实验教学对于学生的培养是不容忽视的,对学生动手和解决问题能力的锻炼是书本无法代替的。化工原理实验教学对于化工专业的学生来说仅仅是工程实践教学的开始,在高年级的专业实验和毕业论文阶段还要继续提高。

二、化工原理实验的教学要求

化工原理实验对于学生来说是第一次接触到用工程装置进行实验,学生往往感到陌生,无从下手。有的学生又因为是几个同学一组而有依赖心理,为了切实收到教学效果,要求每个学生必须做到以下几点:

1. 课前预习

实验课前必须认真地预习实验指导书,必要时参考教材有关章节,清楚地了解实验目的、原理、要求及实验的大体步骤,对于实验所涉及的测量仪表也要预习它们的使用方法。

有计算机辅助教学时,让学生进行计算机仿真练习,通过计算机熟悉实验的操作步骤和注意事项。学生在预习和仿真练习的基础上写出实验预习报告,内容包括:实验目的、原理、装置及方法,并准备好实验记录表格,要做到实验前有充分的准备,心中有数或带着问题进实验室。

2. 实验操作

进实验室后仔细观察实验设备,弄清装置流程、设备结构及操作方法。实验开始前由指导老师提问检查通过,然后全组同学进行分工,方可开始做实验。实验操作是动手动脑的重要过程,同学们一定要严格按照操作步骤进行。操作过程中,同组同学可适当轮换,使每个学生对整个实验均熟悉和了解。实验过程要亲自动手操作,不应袖手旁观,更不该照抄别人答案。做实验时要注意观察现象,注意保持设备的正常运转。如果发现不正常现象,应立即处理或报告指导老师。在实验过程中,还应注意测量点的范围、测点数目以及哪些点要取得密一些,等等。调试时要求细心,操作平稳,确保数据的准确性和可靠性。实验时要求采取科学态度,对实验数据要实事求是,不要凭主观意念修改。测试完毕经指导老师检查数据,得到指导老师同意后,停止实验。实验结束后,设备要恢复实验前状态,并整理周围环境,经指导老师同意后方可离开实验室。

3. 实验记录

在完成一项实验过程中,要做好原始数据的记录。实验原始记录是第一性的实验资料,对于稳定过程应在操作稳定后开始记录数据;对不稳定过程,应该按时做好记录。记录应记在表格中,禁止记在活页纸或碎纸片上。填写记录应做到认真仔细,整齐清楚,养成一丝不苟的良好习惯。实验记录应包括测量的数据、实验现象及实验时的各种条件。所记录的数据应当是直读的数据,不应是经过计算后的数据。实验过程不应随意舍弃可疑数据,对这类数据除确有明显原因使数据不正常可以舍去之外,一般在数据处理时应根据给定的误差范围决定取舍。数据若有改动时以划掉重写为宜。几个同学同做一个实验时,应避免分开记录可能出现的差错。实验结束后,对数据的规律性进行初步检查,看有无明显记错或遗漏的地方。一经发现,如有可能应补正。

根据化工原理实验的特点,实验记录的表格都应预先设计和制表,表格要求项目齐全,秩序合理,测量数据和计算结果可以列在一张表格中。

4. 实验总结

实验总结是以实验报告的形式完成的。实验报告是一项技术文件,是学生用文字图表表达技术资料的一种训练,整理实验结果也是一种基本技能的训练。因此要求各自独立完成实验报告。抄袭报告的行为是不道德的。

实验报告的内容可在预习报告的基础上完成,一般应包括以下内容:① 实验目的;② 实验原理;③ 流程和操作步骤;④ 原始数据表;⑤ 实验结果整理过程、实验结果表格、图线或经验公式,并附一组数据的计算方法和过程;⑥ 问题讨论。

实验报告文句力求简明,书写清楚,图表整齐、清楚,插图附在适当的位置,并装订成册。实验报告中应写出姓名、班级、学号、实验时间、指导老师姓名及同组人,应在规定的时间内交指导老师批阅。实验报告是考核成绩的主要方面,应认真对待。

三、化工实验数据处理

记录下来的原始实验数据通常要进行计算、处理才能获得应有的结果,还要选用合适的方式表示这些结果,如规格化列表、作图或选用合适的方程式等。

(一) 数据计算

在数据计算过程中,应写出一组数据的完整计算过程,以便于检查在计算方法和数字计算上有无错误。计算完一组数据,就应该判断结果是否合理,例如:管内流体作湍流时, λ 在 $0.02 \sim 0.03$,假如计算结果是 0.35 或其他离奇的数值,那肯定是错了。如果是计算错误可以及时改正过来,以免一错到底。

由于实验数据较多,为了节省时间并避免计算错误,最好将计算中始终不变的数合并为常数,然后再逐一计算。

在计算中应注意有效数字。在工程计算中,计算的最后结果有效数字一般为三位,在运算过程中可保留一或两位不定数字。

(二) 实验数据标绘

实验数据经计算后,通常需要将结果标绘在坐标纸上,或者得出实验数据的拟合方程式,并判定拟合方程式的有效性。

1. 实验数据的图示(解)法

表示实验中各变量关系最通常的办法是将离散的实验数据标于坐标纸上,然后连成光滑曲线或直线,直观而清晰地表达出各变量的相互关系,分析极值点、转折点、变化率及其他特性,便于比较。还可以根据曲线得出相应的方程式,某些精确的图形还可用于不知数学表达式的情况下进行图解积分和微分。

(1) 坐标纸的选择

实验中常用的坐标有直角坐标、对数坐标和半对数坐标。

直线关系: $y = a + bx$, 选用普通坐标纸;

幂函数关系: $y = ax^b$, 则 $\lg y = \lg a + b \lg x$, 在对数坐标纸上为一直线, 选用对数坐标纸;

指数函数关系: $y = a^{bx}$, 选用半对数坐标纸, 因 $\lg y$ 与 x 呈直线关系。

此外,某变量最大值与最小值数量级相差很大时,或自变量 x 从零开始逐渐增加的初始阶段, x 少量增加会引起因变量极大变化,均可用对数坐标。

(2) 坐标的分度

坐标分度指每条坐标轴所代表的物理量大小,即选择适当的坐标比例尺。

为了得到良好的图形,在量 x 和 y 的误差 Δx 、 Δy 已知的情况下,比例尺的取法应使实验“点”的边长为 $2\Delta x$ 、 $2\Delta y$,而且使 $2\Delta x = 2\Delta y = 1 \sim 2 \text{ mm}$,若 $2\Delta y = 2 \text{ mm}$,则 y 轴的比例尺

M_y 应为:

$$M_y = \frac{2 \text{ mm}}{2\Delta y} = \frac{1}{\Delta y}$$

如已知温度误差 $\Delta T = 0.05^\circ\text{C}$, 则

$$M_y = \frac{1}{0.05} = 20 \text{ mm}/^\circ\text{C}$$

那么 1°C 温度的坐标为 20 mm 长, 若感觉太大, 可取 $2\Delta x = 2\Delta y = 1 \text{ mm}$, 此时 1°C 温度的坐标为 10 mm 长。

2. 图解法求经验公式

把实验数据归纳为经验公式, 即一定的函数关系式, 可以清楚地表示各变量之间的关系, 而且便于用计算机处理。

(1) 直线化方法

如何由实验数据 (y_i, x_i) 得出一定的经验方程式? 通常将实验数据标绘在普通坐标纸上, 得一曲线或直线, 如果是一直线, 则根据初等数学可知:

$$y = a + bx$$

如果不是一直线, 也就是说, y 与 x 不是线性关系, 则可将实验曲线和典型的函数曲线相对照, 选择与实验曲线相似的典型曲线函数形式, 然后用直线化方法, 对所选函数与实验数据的符合程度加以检验。

(2) 三元函数图解

化工中常见的准数方程式如 $Nu = aRe^b Pr^c$, 就是一个三元函数方程式。在这种情况下, 可先令其中一个变量为常数, 然后根据上述处理双变量函数的方法, 在每一个变量常数下作图, 便得到一组直线。

(三) 实验数据的回归分析法

化工实验中, 由于存在实验误差与某种不确定因素的干扰, 所得数据往往不能用一根光滑曲线或直线来表达, 即实验点随机地分布在一直线或曲线附近, 要找出这些实验数据中所包含的规律性即变量之间的定量关系式, 而使之尽可能符合实验数据, 可用回归分析这一数理统计的方法。

回归分析的数学方法是最小二乘法。它包括一元线性回归(直线拟合)、相关系数及回归显著性检验、多元线性回归、非线性回归等内容。一元与多元回归可编辑程序用计算机处理。请参考有关书籍。

(四) 实验的误差分析

由于实验方法和实验设备的不完善、环境的影响、人的观察因素、测量技术限制等, 实验观察值和真值之间总是存在一定的差异, 在数值上即表现为误差。为了提高实验的精度, 缩小实验观测值与真值之间的差值, 需要对实验的误差进行分析和讨论。

误差的产生有以下几种类型:

系统误差——指在同一实验条件下, 多次测得同一测量值, 误差保持恒定, 或在条件改变时, 按某一确定的规律变化的误差。产生系统误差的原因有: ① 仪器设备的误差, 如仪表未经校正或标准表本身存在偏差等; ② 周围环境的改变, 如外界温度、压力、风速等; ③ 实验人员个人的习惯和偏好, 如读数的偏高或偏低等引入的误差。系统误差可针对上述诸原

因分别改进仪器和实验装置以及提高实验技巧予以清除。系统误差的大小反映了实验数据准确度的高低。

随机误差——指在相同条件下测量同一量时,误差的绝对值时大时小,其符号时正时负,没有确定规律的误差。这类误差产生原因是不易控制的偶然因素所致,因而无法控制和补偿。随机误差在做足够多次数的等精度测量时具有统计规律,所以,多次测量结果的算术平均值将更接近于真值。

过失误差——是一种显然与事实不符的误差。它主要是由于实验人员粗心读错数据,或操作失误等所致。过失误差的观测值在实验数据整理时必须剔除,实验时应避免这类误差的产生。

真值一般是不可测的。但在不存在系统误差的前提下,对某一物理量经过无限多次的测量,它们的平均值就相当接近于这物理量的真值。由于实验中观测次数是有限的,故有限的观测值的平均值,只能近似于真值,故称这个平均值为最佳值。平均值计算方法的选择,取决于一组观测值的分布类型。在一般情况下,观测值的分布属于正态类型,即正态分布。因此,算术平均值作为最佳值使用最为普遍。

某测量点的误差通常由下面三种形式表示:

(1) 绝对误差 ν

某一观测值与平均值(即最佳值)的差称为绝对误差,通称误差。

$$\nu = X_i - \bar{X}$$

(2) 相对误差 η

为了比较不同被测量的测量精度,引入了相对误差。

$$\eta = \frac{X_i - \bar{X}}{\bar{X}} \times 100\%$$

(3) 算术平均误差 δ

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$$

(4) 标准误差 σ

当测量次数有限时,常用下式表示:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

式中 n ——观测次数;

X_i ——第 i 次的测量值;

$\bar{X}$ —— n 次测量值的算术平均值。

标准误差的大小说明,在一定条件下等精度测量的数据中每个观测值对其算术平均值的分散程度。如果测的数值小,该测量列数据中相应小的误差占优势,任一单次观测值对其算术平均值的分散程度就小,测量的精度高;反之,精度就低。

显然,实测到数据的精确程度是由系统误差和随机误差的大小来决定的。系统误差愈小,测得数据的精确度愈高;又随机误差愈小,测得数据的精确度愈高。所以要使实测数据的精确度提高就必须满足系统误差和随机误差均很小的条件。

四、实验注意事项

- (1) 准时进入实验室,不得迟到或早退,不得无故缺课。
- (2) 遵守纪律,不准喧哗,禁止从事与实验无关的活动。
- (3) 对仪器设备在没弄清使用方法前,不得动用。与本实验无关的设备,不得乱摸乱动。
- (4) 爱护实验设备,节约水、电、汽及实验药品。开动与关闭阀门时,不要用力过大,以免损坏仪器和影响实验进行。实验仪器设备若有损坏应立即报告老师并填写破损报告单,由指导老师审核上报处理。
- (5) 保持实验室及设备的整洁。衣服书包等应放在指定地点,不得挂在设备上。
- (6) 注意安全及防火。开启电机前,应观察电机及运转部件附近是否有人在工作。合上电闸时,应慎防触电并注意电机运转时有无异常声。注意精馏塔附近不得使用明火。

实验一 流体机械能守恒与转化实验

一、实验目的

- (1) 研究流体各种形式能量之间关系及转换,加深对能量转化概念的理解。
- (2) 观察流体流经收缩、扩大管段时,各截面上静压头的变化。
- (3) 深入了解伯努利方程的几何意义。

二、实验基本原理

当不可压缩的流体在导管中做稳态流动时,所具有的各种机械能的衡算及相互转化关系服从伯努利方程,对于单位质量的流体,伯努利方程为:

$$Z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = Z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \sum h_i \quad (1-1)$$

式中 Zg , $u^2/2$, p/ρ 分别为每千克流体所具有的位能、动能及静压能,单位为 J/kg, $\sum h_i$ 为克服流体流动阻力而消耗的能量,单位与上述各项的单位相同。

上式又可改写成:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum H_i \quad (1-2)$$

式中各项的单位为(米流体柱),工程上一般称为压头, Z 称为位压头; $u^2/2g$ 称为动压头; $p/\rho g$ 称为静压头; H_i 则称为压头损失。它们的物理意义是指该项能量可将 1 kg 该流体克服其重力而提升的高度。

当液体静止,此时由式(1-1)得到静力学方程式:

$$p_1 = p_2 + (Z_2 - Z_1)\rho g \quad (1-3)$$

所以流体静止状态仅为流动状态的一种特殊形式。

当测压管为垂直取压时所测得的为该点处的静压头,当测压管在管中心正对流动方向取压时所测得的为该点处的静压头与动压头之和(冲压头),因此两测压管的差即为该点处的动压头。

如果流体为理想流体, $H_i = 0$, 则伯努利方程表示流体流经的任一截面上的机械能之和相等。A、B 两截面(参看实验装置示意图)相比,两者处于同一高度,位能相同,但是截面 A 的截面积小于截面 B 的截面积,所以 $u_A > u_B$, 即截面 A 的动压头大于截面 B 的动压头,根据伯努利方程,截面 A 的静压头小于截面 B 的静压头。对于截面 C、D,因管径相等,二者的动压头相等,但因截面 C 的位压头大于截面 D 的位压头,因此截面 C 的静压头必小于截面 D 的静压头。

对于实际流体 $H_i > 0$, 则各截面的机械能之和必随流过距离的增加而减小,各截面之间的差值即为阻力损失压头。

实际流体流动过程中的各种阻力均与流速有关,如果忽略流速对阻力系数的影响,当雷诺准数值较大时,摩擦阻力损失与流速的平方成正比,即:

$$\frac{H_{f1}}{H_{f2}} = \frac{u_1^2}{u_2^2} \quad (1-4)$$

三、实验装置与流程

实验设备由玻璃管、测压管、水槽、循环水泵等组成。

管路分成四段,由两种内径不同的玻璃管连接而成。大管内径约为 27 mm,其余部分的内径约为 15.5 mm。阀 6 供调节流量之用。第四段管路比其他段管路位置低,该段的位压头应比其他段位压头大,但第四段上测压管的标尺刻度较其他三段测压管的标尺刻度起点小,因此从标尺上的读数值不能显示出位压头不同所造成的差别。故在实验测得数据中,可以不考虑位压头的影响。

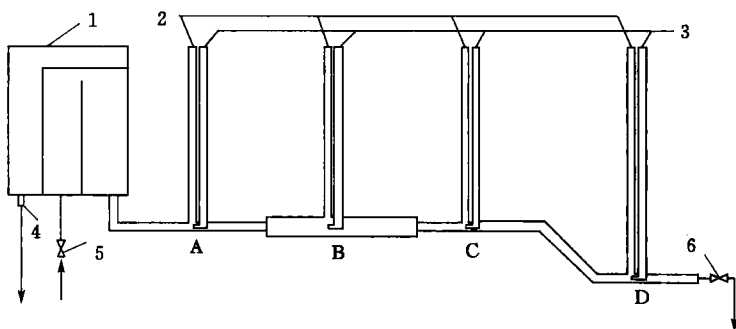


图 1-1 伯努利方程实验装置流程图

1——高位槽门;2——静压测量管;3——冲压测量管;4——溢流管;5——进水调节阀;6——出口调节阀

四、实验操作要点

(1) 实验前,先关闭实验导管出口调节阀,并将灌满溢流水槽,然后开启进水调节阀,水由进水管进入溢流水槽,流经水平安装实验导管后,实验导管排出的水和溢流出来的水直接排入下水道。流体流量由实验导管出口阀控制。进水管调节阀控制溢流水槽内的溢流量,以保持槽内液面稳定,并排尽管内空气,保证流动系统在整个实验过程中维持稳定流动。

(2) 静止流体的机械能分布及转换。

将实验导管出口阀全部关闭,以便于观察。可在测压管内滴入几滴彩色墨水,观察并记录点 A、B、C、D 点处各测压管内液柱高低。

(3) 一定流量下流体的机械能分布及转换。

缓慢调节进水管调节阀,调节流量使溢流水槽中有足够的水溢出,再缓慢开启实验导管出口调节阀,使导管内水流动,当观察到实验导管中部的两支测压管水柱略有差异时,将流量固定不变,当各测压管的水柱高度稳定不变时,说明导管内流动状态稳定,可开始观察实验现象。

(4) 不同流量下稳定流体机械能分布及转换。

连续缓慢地开启实验导管的出口调节阀使流量不断加大,观察并记录点 A、B、C、D 处

各静压能与冲压能测压管内液柱变化。

五、实验数据记录与处理要求

1. 实验数据记录及整理

数据结果记录

序号	A		B		C		D	
	静压头	冲压头	静压头	冲压头	静压头	冲压头	静压头	冲压头
1								
2								
3								
4								

2. 分析并解释实验现象

六、思考题

- (1) 为什么管内的空气泡会干扰实验结果,请问怎样排除?
- (2) 试解释所观察到的实验现象。
- (3) 实验结果是否与理论结果相符合? 解释其原因。
- (4) 比较并列两根测压管液柱高低,解释其原因。

实验二 流线演示实验

一、实验目的

(1) 应用流动演示仪演示各种不同边界条件下的水流形态,以观察在不同边界条件下的流线、旋涡等,增强对流体运动特性的认识。

(2) 应用流动演示仪演示水流绕过不同形状物体的驻点、尾流现象,增强对这些现象的感性认识。

二、实验基本原理

按欧拉法描述、研究流体运动时,引入流线的概念。流线可以更清晰地描绘出整个流体运动空间在某一瞬间的流动图像。对恒定(定常)流动来说,这种运动图像将不随时间而变化。它说明位于该曲线上的每一流体质点的运动方向均与该曲线相切,因此,流线是一条矢量线,是流体运动的方向线。从而通过观察该曲线的变化规律,便可知道流体质点的运动性质。

通过各种演示设备就可以演示出流线,可形象地演示各种流体形态及其内部质点运动的特性。该实验仪器用有机玻璃制成,通过在油流中掺入空气气泡的方法,演示出不同边界条件下的多种水流现象,并显示相应的流线。

三、实验装置与流程

本实验装置为自循环式油液流线仪,它是由储油箱、油泵、进油管、流线显示槽、回流管等组成,形成油液自循环系统。

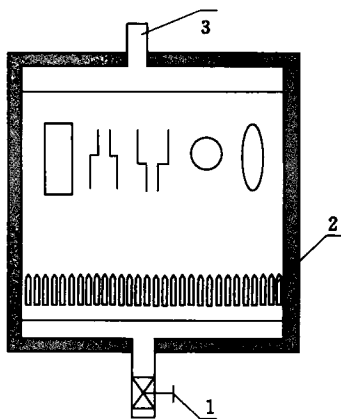


图 2-1 流动演示仪结构示意图

1——进油阀门;2——空气气泡发生管;3——出油管

四、实验操作要点

- (1) 熟悉并检查演示设备；
- (2) 接通电源,开启油泵,检查进、回流系统是否畅通；
- (3) 待流线逐渐清晰后,观察并描述流经各绕流体时流线的形态；
- (4) 观察并描述流线在加速区、减速区的运动规律；
- (5) 关闭油泵,切断电源,将设备恢复原状。

五、实验记录与处理要求

观察并描述流经各绕流体时流线的形态。

六、思考题

- (1) 本实验依据的是什么原理？它在工程中有什么作用？
- (2) 什么是迹线、流线？

实验三 雷诺实验

一、实验目的

- (1) 学习和观察流体的流动形态,并对层流和湍流的现象进行比较。
- (2) 测定流形转变时的临界雷诺数。

二、实验基本原理

流体流动存在两种截然不同的形态,主要决定因素为流体的密度和黏度、流体流动的速度,以及设备的几何尺寸(在圆形管道中为管道直径),将这些因素整理归纳为一个无因数群,称该无因数群为雷诺准数(或雷诺数),即

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

式中 d ——管道直径,m;

ρ ——流体密度, kg/m^3 ;

u ——流体流速, m/s ;

μ ——液体动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

ν ——液体运动黏度, m^2/s 。

大量实验测得:当雷诺准数小于某下临界值时,流体的流动形态为层流;当雷诺数大于某上临界值时,流体的流动形态为湍流;在下临界值和上临界值之间,则为不稳定的过渡区域。对于圆形管道,下临界雷诺准数为 2 000,一般情况下,上临界雷诺准数为 4 000 时即形成湍流。

应当指出,层流与湍流之间并非是突然的转变,而是两者之间相隔一个不稳定过渡区域,因此,临界雷诺数测定值和流形的转变,在一定程度上受一些不稳定的其他因素的影响。

三、实验装置与流程

雷诺实验装置主要由稳压溢流水槽、实验导管、转子流量计等部分组成,如图 3-1 所示。

上水流经进水阀至稳压溢流水槽,缓冲、溢流稳压后流经实验导管,墨水瓶的墨水(示踪剂)经调节阀控制流速后在针尖处进入实验导管,水流量由转子流量计前阀调节。出水和溢流均进入下水道。

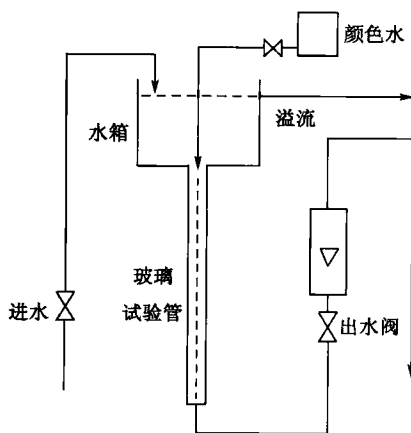


图 3-1 雷诺实验装置流程图

四、实验操作要点

1. 实验前准备工作

(1) 实验前,先用自来水充满稳压溢流水槽。将适量示踪剂(红或蓝墨水)加入贮瓶内备用,并排尽贮瓶与针头之间管路内的空气。

(2) 实验前,先对转子流量计进行标定,作好流量标定曲线。

(3) 用温度计测定水温。

2. 实验操作步骤

(1) 开启自来水阀门,保持稳压溢流水槽有一定的溢流量,以保证试验时具有稳定的压头。

(2) 用放风阀放去流量计内的空气,再少许开启转子流量计调节阀,将流量调至最小值,以便观察稳定的层流形型,再精细地调节示踪剂管路阀,使示踪剂的注水速度与实验导管内主体流体的流速相近,一般略低于主体流体的流速为宜。精心调节至能观察到一条平直的细流为止。

(3) 缓慢地逐渐增大调节阀的开度,使水通过试验导管的流速平稳地增大,直至试验导管内直线流动的细流开始发生波动,继续缓慢地增加调节阀开度,使水流量平稳地增加,这时导管内的流体的流形逐步由层流向湍流过渡。当流量增大到某一数值后,示踪剂一进入试验导管,立即被分散成烟雾状,这时表明流体的流形已进入湍流区域。在此过程中,如出现水位变化时应调节进水阀确保水箱内水位稳定,有适当的溢流。

(4) 逐渐缓慢地关小玻璃管出水阀,直到颜色水变为一条可见的流线,此时即为湍流转变为层流的下临界雷诺数的情况,记下水的流量和温度数据,以供计算上临界雷诺数。

(5) 重复步骤(3)、(4),计算临界雷诺数 Re ,取平均值。这样实验操作需反复进行数次(至少5~6次),以便取得较为准确的实验数据。

(6) 关闭进水阀、墨水阀,全开排水阀,将系统内水尽量排尽。

3. 实验操作注意事项

(1) 本实验示踪剂采用墨水,它由墨水贮瓶,经连接软管和注射针头,注入试验导管,应注意适当调节注射针头的位置,使针头位于管轴线上为佳。墨水的注射速度应与主体流体流速相近(略低些为宜),因此,随着水流速度增大,需相应地细心调节墨水注射流量,才能得到较好的试验效果。

(2) 在实验过程中,应随时注意稳压水槽的溢流量,随着操作流量的变化,相应调节自来水给水量,防止稳压槽内液面下降或泛滥事故的发生。

(3) 在整个实验过程中,切勿碰撞设备。操作时也要轻巧缓慢,以免干扰流体流动过程的稳定性,实验过程有一定滞后现象。因此,调节流量过程切勿操之过急。待状态确实稳定之后,再继续调节或记录数据。

(4) 每学期最后一次实验完成后,应将墨水和稳压溢流水槽内水放尽,并将墨水瓶及墨水管路系统冲洗干净,然后再放水到稳压溢流水槽,将系统冲洗,最后排干。重新使用前应清除灰尘、杂物,用干净水冲洗,仔细检查各系统完好情况。