



21世纪高等教育规划教材

化工原理实验

HUAGONG YUANLI SHIYAN

■ 主编 宋 红 史竞艳



教育部直属师范大学
华中师范大学出版社

化工原理实验

主编 宋 红 史竞艳

华中师范大学出版社

内 容 提 要

本书分为基础部分和实验部分,具体包括实验基础知识、实验数据的测量及计算机数据处理、化工实验参数测量技术、化工原理基础实验、化工原理综合实验及附表,内容讲究简洁实用,强调工程观念和方法论,重视计算机测控技术和数据处理方法的运用。本书可作为高等院校化工及相关专业的化工原理实验课程的教材或教学参考书,也可作为石油、生物化工、环境、医药等部门从事科研、生产技术人员

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/宋红,史竞艳主编. —武汉:华中师范大学出版社,2015.2

(21世纪高等教育规划教材)

ISBN 978-7-5622-6896-3

I. ①化… II. ①宋… ②史… III. ①化工原理—实验—高等学校—教材
IV. ①TQ 02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 016099 号

书 名: 化工原理实验

主 编: 宋 红 史竞艳◎

选题策划: 华中师范大学出版社第二编辑室 电话: 027-67867362

出版发行: 华中师范大学出版社

地 址: 武汉市洪山区珞喻路 152 号 邮编: 430079

销售电话: 027-67863426/67863280

邮购电话: 027-67861321 传真: 027-67863291

网址: <http://www.ccnapress.com> 电子信箱: hscbs@public.wh.hb.cn

责任编辑: 缪 玲 张晶晶 责任校对: 刘 峥 封面设计: 罗明波 封面制作: 胡 灿

印 刷: 武汉兴和彩色印务有限公司

督 印: 章光琼

开本/规格: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 8.75 字 数: 210 千字

版 次: 2015 年 2 月第 1 版

印 次: 2015 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1—3 000

定 价: 16.00 元

敬告读者: 欢迎上网查询, 购书; 欢迎举报盗版, 电话 027-67861321。



前 言

本教材根据高校“化工原理实验”课程的教学需要编写。为了适应不同专业的教学要求,内容选取上重点包括实验基础知识、实验数据的测量及计算机数据处理、化工实验参数测量技术、化工原理基础实验、化工原理综合实验及附表六部分。化工原理基础实验包括雷诺实验、伯努利实验、离心泵实验、套管换热器液-液热交换实验、填料塔气体吸收实验、填料塔连续精馏实验、流化床固体干燥实验、恒压过滤实验等典型的单元操作实验。化工原理综合实验包括流体综合实验、传热综合实验、连续精馏计算机数据采集和过程控制实验、连续搅拌釜式反应器液相反应动力学实验。化工原理实验的教学目的是帮助学生建立起一定的工程观念,学会分析实验装置的结构、性能和流程,并通过在实验中的操作和观察,掌握一定的基本实验技能。

本教材既强调了学生对化工原理知识的学习,又突出了化工实验的共性问题,详细介绍了实验数据的测量及计算机数据处理、化工实验参数测量技术,并配有相应的实验软件,便于学生自学。

本教材可作为高等院校化工及相关专业的“化工原理实验”课程的教学用书。编者注重实验数据处理以及实验结果讨论的环节,重视训练学生的实验操作能力、仪器仪表的使用能力、实验数据的处理和分析能力以及理论知识的运用能力,注重锻炼学生的思维能力和创新能力,使学生树立严肃认真、实事求是的科学态度。

本教材由宋红、史竞艳主编,另外要特别感谢赵秀琴、王金、隆琪、王刚等老师在教材编写过程中提出的宝贵意见。鉴于编者学识有限,书中难免存在错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015年2月



目 录

基础部分

第 1 章 实验基础知识	3
1.1 化工原理实验的教学目的	3
1.2 化工原理实验的基础要求	3
1.3 化工原理实验的注意事项	5
第 2 章 实验数据的测量及计算机数据处理	7
2.1 实验数据的测量	7
2.1.1 实验数据的误差分析	7
2.1.2 有效数字及其运算规则	9
2.1.3 实验数据的处理方法	10
2.2 计算机数据处理	12
2.2.1 Excel 在化工原理实验数据处理中的应用	12
2.2.2 Origin 在化工原理实验数据处理中的应用	23
2.2.3 MATLAB 在化工原理实验数据处理中的应用	30
第 3 章 化工实验参数测量技术	42
3.1 压力的测量	42
3.1.1 液柱压差计	42
3.1.2 弹性压差计	44
3.1.3 电测压差计	45
3.2 流量的测量	46
3.2.1 节流式流量计	46
3.2.2 转子流量计	49
3.2.3 涡轮流量计	50
3.3 温度的测量	51
3.3.1 热电偶温度计	51
3.3.2 热电阻温度计	54
3.4 折光率的测量	56

实验部分

第 4 章 化工原理基础实验	61
实验 1 雷诺实验	61
实验 2 伯努利实验	65



实验 3	离心泵实验	69
实验 4	套管换热器液-液热交换实验	73
实验 5	填料塔气体吸收实验	79
实验 6	填料塔连续精馏实验	86
实验 7	流化床固体干燥实验	92
实验 8	恒压过滤实验	97
实验 9	液-液萃取实验	100
第 5 章	化工原理综合实验	105
实验 1	流体综合实验	105
实验 2	传热综合实验	113
实验 3	连续精馏计算机数据采集和过程控制实验	119
实验 4	连续搅拌釜式反应器液相反应动力学实验	125
附表		131
参考文献		134



基础部分



第1章 实验基础知识

化工原理实验是化工原理课程教学的一个重要教学环节,不同于一般基础化学实验的是其具有工程特点,属于工程实验范畴。每个实验项目就是化工生产中的一个单元操作,一个化工产品的生产就是由一系列这样的单元操作通过一定的组合产生的,所以通过化工原理实验能使學生建立一定的工程观念;同时,在实验过程中,學生可以更直接、有效地学到工程实验方面的原理及测试手段,学会工程问题的研究方法以及处理方法,为今后的工作打下坚实基础。

1.1 化工原理实验的教学目的

化工原理实验课程强调实践性和工程观念,并将能力和素质培养贯穿于实验课的全过程。该课程的教学目的主要有以下几点:

第一,巩固和深化理论知识。

在学习化工原理课程的基础上,进一步加深对一些常见的典型化工单元操作过程、设备原理以及理论知识的理解和掌握。

第二,增强理论与实际的联系。

通过学习,能运用所学理论知识去解决实验中遇到的各种实际问题,能看懂装置流程,确定操作条件,会维护和使用常见设备,同时能利用实验中所获取的新知识更好地指导实践。

第三,培养学生从事科学实验的能力。

从事科学实验的能力主要包括:①为完成一定的研究课题设计实验方案的能力;②实验过程中观察和分析实验现象以及解决实验问题的能力;③正确选择和使用测量仪表的能力;④利用实验获得的原始数据进行数据处理以得到实验结果的能力;⑤运用文字表述技术报告的能力等。學生只有通过科学和严谨的实验训练,才能掌握各种科学实验技能,为将来从事科学研究和解决工程实际问题打下坚实基础。

第四,提高学生运用计算机技术对实验数据进行处理以获得实验结果的能力。

第五,培养学生科学的思维方法、严谨的科学态度和良好的科学作风,提高自身科学素质水平。

第六,培养学生的创新意识和创新思维,通过在实验中的不断尝试和摸索,不断探求新的实验方法和思路。

1.2 化工原理实验的基础要求

化工原理实验是一门重要的技术学科,有其自身的特点和系统。为了切实加强实验教学环节,一般将化工原理实验课单独开设并进行单独考核。化工原理实验包括实验预



习、实验操作、实验数据记录与处理、实验报告的撰写 4 个主要环节,对各个环节的具体要求如下。

(1) 实验预习

实验前认真阅读实验教材及相关参考资料,对每个实验项目的要求和目的、实验原理、设备装置的结构和流程等方面做到心中有数,这样在实验过程中才会更有针对性和目的性,理解才会更加深入、透彻。实验预习情况主要以提问和学生自己讲解实验过程的方式来进行考核。

(2) 实验操作

教师在实验过程中重点讲解实验设备的基本构造、实验流程及实验中的注意事项。学生应根据自己的预习情况和教师的讲解进行具体操作,包括设备启动前管路阀门的开、闭情况及仪表指示情况的确认,以确保实验操作能够稳定、安全进行。一旦出现异常情况应及时报告教师,切忌擅自处理,以免酿成严重后果。实验完毕,应关闭气源、水源、电源开关,然后切断总电源,并将各阀门恢复至原位。实验过程以分组形式进行,每组 3~4 人,做到既有分工又有合作,各负其责,这样既能保证实验质量,又能使每个学生都得到锻炼。

(3) 实验数据记录与处理

① 记录原始数据。

原始数据包括实验中的实验参数、设置以及直接测定的实验结果,这些都是可以直接获得,而不需要经过计算处理得到的数据。在实验开始前首先应清楚要记录的数据,然后拟好实验表格,在表格中记录实验测定的数据以及计算所需的一些操作参数等。记录过程中,要注意仪表的精度,不得随意取舍仪表所测数据位数,记录数据时应读取全部有效数字。例如,滴定管的最小分度为 0.1 mL,记录测量数据时应保留小数点后两位小数,如 17.56 mL。记录数据的表格要设计合理、规范,记录清楚,严禁编造数据,并将此作为检验实验成败的一个重要依据。

② 对原始数据进行数据处理。

数据处理的方法可以采用代入公式直接运算法,也可利用计算机软件进行数据处理。在运算过程中要注意单位换算问题。计算机软件处理数据简单快捷,但容易导致学生对公式本身印象不够深刻或遗忘,不利于知识点的掌握,所以用计算机软件进行数据处理时必须在实验报告中备注一组数据的手算处理过程。另外,计算过程中要注意有效数字的运算规则。

(4) 实验报告的撰写

撰写实验报告是实验课程的一个重要环节,它可以反映学生对实验的掌握程度,了解学生实验中的薄弱环节。一份优秀的实验报告必须简洁明了、结构完整、数据真实、图表清晰、结论分析合理。报告的内容一般包括:

① 实验名称。又称标题,列在实验报告的最前面。

② 实验目的。简要交代为什么要进行该实验,实验要解决什么问题。

③ 实验原理。简要说明实验所依据的基本原理,包括实验所涉及的一些重要概念、定律和公式。

④ 实验装置。包括绘制设备流程示意图,标明主要设备、仪表的类型及规格。设备



型号和规格往往可体现出实验结果的可靠性和精确性,所以实验中所用到的设备一定要标明型号和规格。

⑤实验方法。根据对实验的预习和具体实验情况简明扼要地将流程写出,可以采用文字叙述或流程图等方式,注意不应照搬书本,同时写出实验的注意事项。

⑥实验结果。记录原始数据,处理数据并分析得出实验结果。数据应采用表格形式记录,要清楚明了。原始数据是数据运算的依据,是判断实验结果正确性和准确性的重要参考,是决定实验成败的关键。处理实验数据时,选取一组实验数据写出详细计算过程,加深对公式的理解和掌握,同时也便于教师批阅时找出计算出错的原因。实验本身就是一个不断尝试和探索的过程,尤其是初次进行实验的学生,更有可能在实验中出现各种问题,从而导致结果不够准确或不正确。因此,我们更应该学会分析实验结果,并能够通过分析找到实验中的不足或错误,以提高实验完成的质量。

⑦思考题。完成实验后,提出问题,加深印象。

(5) 实验考核

化工原理实验的考核总成绩由平时成绩(包括平时的实验预习、实验操作、回答问题、实验报告情况)和期末考核成绩组成。

1.3 化工原理实验的注意事项

为安全、成功地完成实验,除每个实验有其特殊要求外,还需特别强调几点常规的注意事项和安全知识。

(1) 注意事项

①仪器仪表使用前应注意的事项。

- a. 了解仪器仪表的工作原理与结构。
- b. 掌握正确的连接方法与操作方法。
- c. 掌握正确的读数方法。

②设备启动前必须检查的事项。

- a. 设备运转是否正常,如对泵、风机、电机等设备,启动前需用手使其转动并从声响上判别有无异常,是否需要涂润滑油。
- b. 设备上各阀门的开、关状态。
- c. 接入设备的仪表的开、关状态。

③操作过程中的注意事项。

- a. 严禁离岗脱岗,应认真操作,确保实验稳定进行。
- b. 操作过程中设备或仪表出现问题时,应立即按要求停止,并汇报指导教师,严禁未经许可擅自处理。

④实验结束时必须注意的事项。

检查水源、电源、气源是否关好,总电闸是否拉下,实验完毕经指导教师许可后方可离开实验室。

(2) 安全知识

①化学药品和气体。



尽管化工原理实验中接触的化学药品不多,但使用之前仍需对药品的毒性、易燃易爆性有一定了解,确保使用安全。

使用有毒或易燃易爆气体时,要确保操作系统严密不漏,尾气处理得当,并注意室内通风。

② 高压钢瓶。

高压钢瓶主要是用来贮存各种压缩气体或液化气的高压容器,一般容积为 40 L~60 L,最高工作压力为 15 MPa,最低压力也在 0.6 MPa 以上。瓶内压力很高,并且贮存的气体有些是有毒或易燃易爆气体,故使用前一定要掌握其结构特点和安全知识,确保使用安全。

钢瓶主要由筒体和瓶阀构成,配套的附件还包括保护瓶阀的安全帽、开启瓶阀的手轮、避免运输中震动的橡胶圈。另外,在使用时瓶阀出口还要连接减压阀和差压计。

在使用钢瓶时,需注意以下几点:

a. 在钢瓶使用和保存时,应远离热源(如明火、暖气、炉子等),以防钢瓶内气体受热膨胀而发生爆炸危险。

b. 钢瓶在运输过程中,要轻搬轻放,使用时要固定牢靠,避免猛烈撞击而引起爆炸。

c. 使用钢瓶时,必须用专用的减压阀和差压计,尤其是氢气和氧气不能互换。为防止氢气和氧气两类气体的减压阀混用造成事故,表盘上都注明有“氢气表”或“氧气表”的字样。氢气及其他可燃气体瓶阀和连接减压阀的连接管为左旋螺纹,而氧气等不可燃气体瓶阀和连接减压阀的连接管为右旋螺纹。

d. 开关氧气瓶时,严禁用带油污的手和扳手。因为高压氧气与油脂相遇会引起燃烧,以致爆炸。

e. 瓶阀的开关方向一定要清楚,旋转方向错误或用力过猛会导致螺纹受损,瓶内气体可能冲脱而出,造成重大事故。

f. 每次使用钢瓶前,都要在瓶阀附近用肥皂水检查是否漏气。对于贮存有毒或易燃易爆气体的钢瓶,最好单独放置在远离实验室的房间中。

g. 钢瓶中气体不要全部用净。剩余压力一般应大于 0.1 MPa,供检查使用。

h. 钢瓶必须严格定期检查。

③ 电气设备。

电气设备也是化工原理实验中用到较多的设备,而且有些设备的电负荷较大,因此,安全用电尤为重要。

在使用电气设备时,应注意以下几点:

a. 接通电源之前,必须认真检查电气设备连接是否符合规定要求。

b. 严禁用湿手接触电闸、开关和任何电器。

c. 合闸动作要快和牢,发现异常声音或气味时应立即拉闸进行检查。

d. 必须按照规定的电流限额用电。

e. 离开实验室时,必须将本实验室的总电闸拉下。



第2章 实验数据的测量及计算机数据处理

2.1 实验数据的测量

2.1.1 实验数据的误差分析

进行化工原理实验的重要目的之一就是获得大批实验数据,但在实验过程中,实验仪器、测量方法、人为操作以及周围环境的影响都可能使实验的测量值和真实值之间存在一定的差异,即测量误差。只有学会分析误差、认清误差产生原因,才能设法减小误差,提高实验数据的精确性,这在评判实验结果和设计方案方面具有重要意义。本节将对化工原理实验中遇到的一些误差基本概念与评价方法作一扼要介绍。

(1) 误差的来源及分类

误差是实验测量值与真值之间的差别,根据性质和来源不同,误差可分为三类:

① 系统误差。

系统误差又称可测误差,是由测量过程中某些固定因素所引起的。如方法误差、仪器和试剂误差、实验者本身的一些主观因素造成的误差等。系统误差在重复测定时会重复出现,它的正负、大小有一定规律,具有单向性、重复性以及可测性的特点,经过精确的校正可以消除。

② 随机误差。

随机误差又称偶然误差,是由一些随机的偶然的原因所造成的。如测量时环境温度、湿度和气压的微小波动,仪器性能的微小变化,实验人员操作上的微小差别等,都有可能引起随机误差。由于造成随机误差的是一些不确定的偶然因素,随机误差的数值大小和符号是不确定的,而且无法消除,但总体服从统计规律。在一定条件下,对同一量进行测定,随机误差的算术平均值随测量次数增多而趋于零。

③ 过失误差。

过失误差主要是由操作不正确、工作上粗心大意所造成的,如器皿未洗净、加错试剂、读错刻度或记录错误等。这类数据往往与真实值差别较大,应在整理数据时予以剔除。

(2) 实验数据的真值与平均值

① 真值。

真值是某一物理量本身具有的客观存在的真实数值。真值是一个理想的概念,一般无法测得。但对某一物理量经过无数次测定,根据随机误差中正负误差出现概率相等的规律,测定结果的平均值相当接近于这一物理量,可视其为真值。然而实际上,由于测量次数总是有限的,由此得出的平均值只能近似于真值,此平均值称为最佳值。



②平均值。

化工原理实验中常用的平均值主要有以下几种：

a. 算术平均值(x_m)。

$$x_m = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-1)$$

式中, $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 分别是第 1, 2, $\cdots, n$ 次测量所对应的实验结果, x_i 为第 i 次测量的实验结果。

算术平均值是最常用的一种平均值, 因为测定值的误差分析一般服从正态分布, 可以证明算术平均值即为一组等精度测量的最佳值或最可信赖值。

b. 几何平均值(x_g)。

$$x_g = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} \quad (2-2)$$

几何平均值适用于对比率数据的平均, 并主要用于计算数据的平均增长率。值得注意的是, 几何平均值是相对于正数而言的, 或者说只有正数才有几何平均值。

c. 对数平均值(x_l)。

$$x_l = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}} \quad (2-3)$$

在化工原理实验中, 对数平均值也是较常采用的一种平均值表示方式, 多用于传热和传质过程中。当 $\frac{x_1}{x_2} < 2$ (x_1 为两者中较大数值) 时, 可用算术平均值代替对数平均值, 引起的误差不超过 4.4%。

(3) 实验数据的精密性、正确度和精确度

测量的质量和水平, 可用误差的概念来描述, 也可用准确度等概念来描述。

①精密性。

用来衡量某些物理量几次测量之间的一致性, 即重复性, 它可反映偶然误差的影响程度。

②正确度。

指在规定条件下, 测量中所有系统误差的综合, 它可反映系统误差的影响程度。

③精确度。

指测量结果与真值偏离的程度, 它可反映系统误差和随机误差综合的影响程度。

为说明精密性、正确度和精确度之间的区别, 可用打靶来作比喻, 靶心为真值, 命中点为测量结果。如图 2-1 所示, 如果命中点比较均匀地分散在整个靶上[如(a)], 说明系统误差小而偶然误差大, 即正确度高而精密性低; 如果命中点主要分布在靶上的某个方位, 而且比较密集[如(b)], 说明系统误差大而偶然误差小, 即正确度低而精密性高; 如果

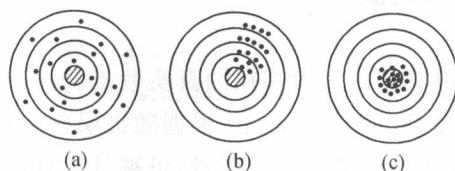


图 2-1 关于测量的精密性、正确度、精确度的示意图



命中点基本都集中在靶心附近,而且比较密集和均匀[如(c)],说明系统误差和偶然误差都小,即精确度高。

(4) 误差的表示方法

① 绝对误差 E 。

测量值 x 和真值 x_T 之差为绝对误差,通常称为误差。记为

$$E = x - x_T \quad (2-4)$$

② 相对误差 RE 。

绝对误差不能完全说明测定的准确性,因为它没有与被测物理量的总量联系起来。如称量的绝对误差同样是 0.0001 g ,被称量物质的质量分别为 1 g 和 0.01 g ,其准确度显然是前者高。为了衡量某一测量值的准确程度,一般以绝对误差与真值的比值即相对误差来表示。记为

$$RE = \frac{x - x_T}{x_T} \quad (2-5)$$

③ 平均偏差 $\bar{d}$ 。

平均偏差是一系列测量值的偏差绝对值之和的算术平均值,是表示一系列测定值误差的较好方法。记为

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \bar{d} = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{\sum |d_i|}{n} \quad (2-6)$$

式中, d_i 为单次测定值的绝对偏差; $\bar{x}$ 为 n 次测量的算术平均值; $\bar{d}$ 为平均偏差。

④ 标准偏差 S 。

标准偏差亦称为均方根偏差。对于有限次测量,标准偏差表示为

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2-7)$$

标准偏差是目前最常用的一种反映测量精确度的方法,它不但与一系列测量值中的每一个数据有关,而且对其中较大的误差或较小的误差的敏感性很强,能较好地反映实验数据的精确度。实验测量越精确,其标准偏差越小。

2.1.2 有效数字及其运算规则

(1) 有效数字的定义

在科学实验中,对于任一物理量的测定,其准确度都有一定限度。在记录数据时,不能对所测的数据进行随意的删减,要记录有效数字,有效数字就是实际能测量到的数字。有效数字一般包括准确读数 and 一位估读数字(可疑数字)。例如,读取滴定管上的刻度为 23.43 mL ,前三位为准确读数,第四位数字为估读数字,但它不是臆造的,所以记录时必须保留,这四位数字均为有效数字。

(2) 有效数字的表达及运算规则

① 记录一个测定值时,只保留一位可疑数字。

② 整理数据和运算中弃取多余数字时,采用“数字修约规则”:四舍六入五考虑,五后非零则进一;五后皆零视奇偶,确保弃五尾是偶。

例: 28.635 取三位有效数字时为 28.6 ,取四位时为 28.64 。



③加减法则:以小数点后位数最少的数据的位数为准,即取决于绝对误差最大的数据位数。

例:将 13.55, 0.008 2, 1.632 三数相加,处理方法是: $13.55 + 0.01 + 1.63 = 15.19$ 。

④乘除法则:以有效数字位数最少的数据的位数为准,即取决于相对误差最大的数据位数。

例:将 0.012 1, 25.64, 1.057 8 三数相乘,处理方法是: $0.012\ 1 \times 25.6 \times 1.06 = 0.328$ 。

⑤对数:对数的有效数字只计小数点后的数字,即有效数字位数与真数位数一致。

⑥常数:常数的有效数字可取无限多位。

⑦某一数据中第一位有效数字等于或大于 8 时,其有效数字位数可多算一位。

⑧在计算过程中,有效数字位数可暂时多保留一位,以免多次修约造成误差的累积,最后再将计算结果按修约要求修约。

2.1.3 实验数据的处理方法

对实验所获得的数据进行处理是实验过程的一个重要环节。对实验数据的分析、整理、计算的目的在于获得变量之间的关系、变化规律,从而更好地指导实践。

数据处理的方法主要有以下几种:

(1)列表法

列表法即记录数据时,将数据制成表格。这种方法简单、清晰,各物理量的变化规律可清楚看出,在化工原理实验中常常采用这种方法。在设计表格时要求:

①表格设计合理。

②标题栏中要写明各物理量的符号和单位。

③表中所列数据要正确反映测量结果的有效数字。

④一些已知的实验条件或查得的单项数据要写在表格的上部,见表 2-1。

表 2-1 套管换热器液-液热交换实验数据

[热流体 $c_{p(\text{热})} = \underline{\hspace{1cm}}$ kJ/(kg · °C), 密度 $\rho = \underline{\hspace{1cm}}$ kg/m³, 黏度 $\mu = \underline{\hspace{1cm}}$ Pa · s]

$q_{V(\text{热})}$ (L/h)						
T_1 (°C)						
T_2 (°C)						
T_{w1} (°C)						
T_{w2} (°C)						
t_1 (°C)						
t_2 (°C)						
$q_{m(\text{热})}$ (kg/s)						
Q (J/s)						
$\Delta t_{m(\text{逆})}$ (°C)						
ΔT_m (°C)						
K [W/(m ² · K)]						
$\alpha_{(\text{热})}$ [W/(m ² · K)]						



(2) 图示法

图示法即将实验数据之间的关系或其变化情况用作图的方式表示出来,可采用坐标纸或者电脑软件绘图。图示法直观、明显。采用坐标纸作图时的一般步骤如下:

① 选用合适的坐标纸。

在化工原理实验中,常用到直角坐标、双对数坐标和半对数坐标,市场上都有相应的坐标纸出售。

坐标纸可根据对实验数据的变化或已有的经验来预测和选择。由于直线关系作图最容易,而且误差小,所以在绘制曲线时尽量使数据的函数关系接近直线关系。

a. 对于直线关系: $y = a + bx$, 选用直角坐标纸。

b. 对于幂函数关系: $y = ax^b$, 选用对数坐标纸, 因为 $\lg y = \lg a + b \lg x$, 在对数坐标纸中 $\lg y$ 与 $\lg x$ 的函数关系为直线关系。

c. 对于指数函数关系: $y = a^{bx}$, 选用半对数坐标纸, 因 $\lg y$ 与 x 的函数关系为直线关系。

此外,若两组作图的数据在较大的数量级内变化,一般选用双对数坐标纸;若只有一组实验数据在较大数量级内变化,一般选用半对数坐标纸。如在流体综合实验中,测得粗糙管中的摩擦系数 λ 和 Re 的一组对应数据见表 2-2。

表 2-2 λ 和 Re 的测定值

Re	35 635	28 508	21 381	14 254	7 127	3 207	2 494	1 782	356
λ	0.022 49	0.023 31	0.025 02	0.028 92	0.036 77	0.040 4	0.042 89	0.036 03	0.120 09

由表中数据可看出, λ 和 Re 数值变化都较大,所以选用双对数坐标纸比较合适。

② 坐标轴的比例与标度。

a. 用实线描出坐标轴,横轴代表自变量,纵轴代表因变量,注明物理量名称及单位。

b. 原则上,坐标中的最小格应对应测量值可靠数字的最后一位,但也可根据实际情况选择这一位的“1”“2”或“5”倍。

c. 坐标轴的起点不一定从零开始。

在此,要特别注意双对数坐标的特点:某点与原点的距离为该点表示量的对数值,但是该点标出的量是其本身的数值,例如,对数坐标上标着 6 的一点至原点的距离是 $\lg 6 = 0.78$, 如图 2-2 所示。图中上面一条线为 x 的对数刻度,而下面一条线为 $\lg x$ 的线性刻度。

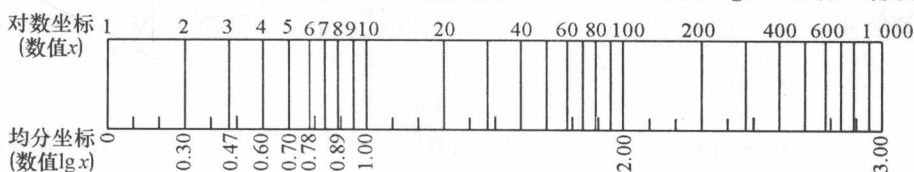


图 2-2 对数坐标与均分坐标的关系

③ 标实验点。

选用不同的符号,如“+”“×”“◇”等标出实验点,测量数据要落在标记符号的中心,大小适中。一条实验曲线要用同一种符号,多条曲线要用不同符号,以示区分。

④ 连图线。

作图时要使尽可能多的数据点落在线上,不能落在线上的数据点要尽量分居线的两