

高等教育规划教材



化工原理实验

赵清华 谭怀琴 白薇扬 郭芳 编

HUAGONG
YUANLI
SHIYAN



化学工业出版社

高等教育规划教材

化工原理实验

赵清华 谭怀琴 白薇扬 郭芳 编



化学工业出版社

· 北京 ·

《化工原理实验》是化学工程与工艺、应用化学、过程装备与控制、生物工程、制药工程等专业的化工原理实验教材,全书共4章。第1章为绪论;第2章实验基础知识介绍了化工原理实验的基本要求、Origin 处理数据示例以及实验数据的误差分析等;第3章实验部分包括演示实验、基础实验以及提高和研究型实验,每个实验包括实验目的、实验内容、实验原理、实验装置和流程、实验操作及注意事项、实验数据处理等内容,涵盖了化工原理实验教学大纲要求的所有实验项目;第4章重点介绍了化工常用仪表。

《化工原理实验》可作为高校化工、环境、生物工程等相关专业的教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/赵清华等编. —北京:化学工业出版社,
2018.2

高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-31249-5

I. ①化… II. ①赵… III. ①化工原理-实验-教材
IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 322868 号

责任编辑:徐雅妮

文字编辑:丁建华

责任校对:边涛

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京京华铭诚工贸有限公司

装订:三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张9¼ 字数211千字 2018年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

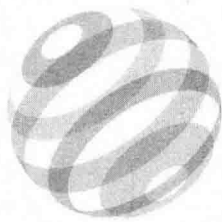
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00 元

版权所有 违者必究

前言



本书与化工原理理论课教学紧密配合,注重基本概念、基本操作和工程能力的训练。全书分为4章,第1章为绪论。第2章实验基础知识,主要介绍了化工原理实验的基本要求、Origin 处理数据示例以及实验数据的误差分析等,旨在结合计算机技术的发展,培养学生的数据处理及计算机应用能力。第3章为实验部分,主要介绍了雷诺实验、能量转化演示实验、流线演示实验、板式塔操作演示实验,流体流动、过滤、传热、精馏、吸收(解吸)、干燥、萃取等基础实验以及超临界 CO₂ 萃取、喷雾干燥等拓展实验,在实验内容的安排上注重典型性和代表性,按照演示实验、基础实验和拓展实验的顺序编写,实现经典实验与学科前沿实验内容相结合、常规实验技术与现代实验技术相结合,以拓宽课程内容和学生的知识面。第4章主要介绍了化工原理实验和生产过程中常用的压力、流量、温度等测量仪表的基本原理和使用方法。附录部分提供了实验所需的物性参数。

本书从培养学生工程能力、创新思维和创新能力的目标出发,针对高等院校化工原理课程实验教学的实际需要和课程体系的基本要求,融合重庆理工大学及兄弟院校多年的实践教学经验和改革成果编写而成。本书可作为高等院校化学工程与工艺、应用化学、过程装备与控制、制药工程、生物工程等相关专业教材,也可供化工、石油、纺织、食品、医药、环境工程等领域从事科研、生产的技术人员参考。

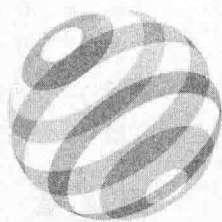
本书由赵清华、谭怀琴、白薇扬、郭芳编写。在本书的前期策划和编写过程中,全学军等同事给予了指导以及热情的支持和帮助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,欠缺之处,请读者批评指正。

编者

2018年1月15日

目录



第1章 绪论 / 001

- 1.1 化工原理实验室规则 / 001
- 1.2 化工原理实验的教学目的 / 001

第2章 实验基础知识 / 003

- 2.1 化工原理实验基本要求和相关知识 / 003
 - 2.1.1 实验预习 / 003
 - 2.1.2 实验操作 / 004
 - 2.1.3 实验数据读取和记录 / 004
 - 2.1.4 实验数据处理和讨论 / 005
 - 2.1.5 实验报告的撰写 / 008
- 2.2 Origin 处理数据示例 / 009
- 2.3 实验数据的误差分析和有效数字 / 017
 - 2.3.1 误差的来源及分类 / 017
 - 2.3.2 实验数据的准确度与精确度 / 018
 - 2.3.3 真值与平均值 / 018
 - 2.3.4 误差的表示法 / 019
 - 2.3.5 有效数字及运算规则 / 020

第3章 实验部分 / 022

- 实验 1 雷诺实验 / 022
- 实验 2 能量转化演示实验 / 025
- 实验 3 流线演示实验 / 028
- 实验 4 板式塔操作演示实验 / 030
- 实验 5 离心风机性能测定、流化床及旋风分离器实验 / 032
- 实验 6 流体力学综合实验 / 036
- 实验 7 空气-水蒸气对流传热实验 / 050
- 实验 8 恒压过滤常数测定 / 061
- 实验 9 精馏实验 / 068
- 实验 10 氧气吸收与解吸实验 / 078
- 实验 11 洞道干燥实验 / 086

- 实验 12 液-液萃取实验 / 094
实验 13 吸收实验 / 103
实验 14 超临界 CO₂ 萃取 / 107
实验 15 喷雾干燥 / 111

第 4 章 化工常用仪表 / 114

- 4.1 压力(差)的测量 / 114
 4.1.1 液柱式压力计 / 114
 4.1.2 弹性式压力计 / 116
 4.1.3 差压变送器 / 117
4.2 流速和流量的测量 / 117
 4.2.1 测速管 / 117
 4.2.2 孔板流量计 / 118
 4.2.3 文丘里流量计 / 120
 4.2.4 转子流量计 / 120
 4.2.5 涡轮流量计 / 122
4.3 温度的测量 / 122
 4.3.1 热膨胀式温度计 / 122
 4.3.2 热电阻温度计 / 123
 4.3.3 热电偶温度计 / 124
 4.3.4 测温仪表的选用 / 125
 4.3.5 接触式测温仪表的安装和使用 / 125

附录 / 126

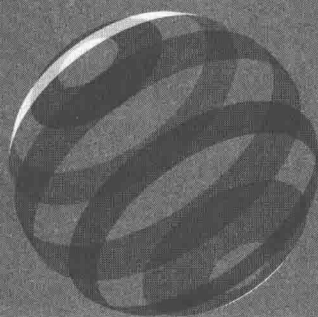
附录一 化工原理常用物性数据 / 126

1. 干空气的物理性质 ($p=101.325\text{kPa}$) / 126
2. 水的重要物理性质 / 127
3. 饱和水蒸气表 / 129
4. 常用固体材料的物理性质 / 132
5. 液体比热容共线图 / 133
6. 液体汽化潜热共线图 / 135
7. 不同温度水中饱和溶解氧浓度 / 136

附录二 汽液平衡数据 / 137

1. 乙醇-水溶液汽液平衡数据 / 137
2. 乙醇-正丙醇的 t - x - y 关系 / 137
3. 乙醇-正丙醇溶液的折射率与液相浓度的关系 / 137

参考文献 / 139



第1章

绪论

1.1 化工原理实验室规则

化工原理实验室是进行科学实验的场所，进入实验室需遵守如下规则：

① 必须以严肃认真的态度进行实验，不得迟到和早退、无故缺课，禁止在实验室内大声喧哗，不得进行与实验无关的事。

② 实验中爱护公共财物，严格遵守实验设备、仪器的操作规程。未做好预习，未全面弄清仪器设备使用前，不得运转，如因违反操作规程损坏仪器、设备者，应根据情节的轻重酌情赔偿。

③ 实验操作过程中，注意用电、气、高压钢瓶及有害药品的安全，并注意防火，实验室内严禁吸烟、使用明火，启动电器设备时，要防触电，注意电机有无异常声音。

④ 实验结束后，检查水源、电源、气源等是否已关断，将仪器设备恢复原状，进行清洁和整理，并将实验数据交指导老师签字，如发现错误或不合格要重做。

1.2 化工原理实验的教学目的

化工原理实验是将化工原理理论与实践联系起来的重要环节，是理论课的重要辅助和补充，它验证了化工过程中的一些基本理论，是学习、掌握和应用化工原理这门课的必要手段。化工原理实验不同于其他基础课程的实验，属于工程实验范畴，是化工及相关学科的重要实验课。通过该教学环节对学生进行实验方法、实验技能的基本训练，着重培养学生独立组织、完成实验的能力以及严肃认真的实验态度，从而建立起工程概念，为将来从事科学研究与解决实际问题奠定良好的基础。

因此，通过化工原理实验应达到如下目的：

① 通过实验让学生进一步掌握、巩固和加深化工原理理论知识，验证化工单元过程的基本理论，运用理论分析实验过程及其现象。

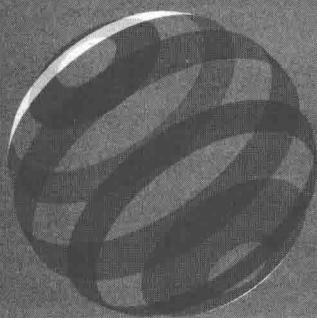
② 熟悉实验装置的结构、流程、操作以及常用化工仪器仪表的使用。

③ 训练实际操作和掌握化工实验的基本技能，培养观察实验现象，测定化工参数，分析、整理实验数据和撰写工程实验报告的能力，进而分析、解决化工原理实验问题，得出较正确的结论，增强学生的工程观点，培养学生良好的科学实验能力。



④ 养成实事求是的科学态度，严谨的科学作风和爱护实验仪器、设备，热爱劳动的良好品德。

为达到上述目的，要求参加实验的学生必须严肃认真地对待实验教学中的每一个环节，认真预习，并按照实验教学的目的和内容，主动、积极、认真地进行实验操作准备，圆满完成实验项目。



第2章

实验基础知识

2.1 化工原理实验基本要求和相关知识

实验预习、实验操作、实验数据读取和记录、实验数据处理和讨论、撰写实验报告是完成化工原理实验必不可少的环节。只有掌握每个环节的相关知识并认真对待，才能真正通过实验提高实验技术。以下就各环节的相关知识和基本要求进行介绍。

2.1.1 实验预习

(1) 预习内容及相关要求

① 认真阅读实验教材，弄清实验目的、实验内容和要求。

② 根据实验目的和内容，弄清实验原理，分析需要测取哪些参数，估计实验数据的变化规律，研究实验的做法。

③ 仔细查看现场实验装置主体设备的基本构造、实验流程、仪表及其对应的测试点，了解测试仪器及使用方法，熟悉参数的调节点和调节方法，了解实验操作步骤。

④ 拟定实验方案，撰写预习报告。根据拟定的实验方案撰写预习报告，预习报告包括实验目的、实验原理、实验装置流程图和说明、实验操作和注意事项，设计并制作出原始数据记录表格。

(2) 预习报告相关要求

预习报告要求在理解的基础上简明扼要、条理清晰地将相关内容进行概括性地叙述，切忌照搬实验教材相关内容。预习报告部分的相关内容要求如下：

实验目的 对实验目的进行概括性的描述。

实验原理 简要说明实验所依据的基本原理，包括实验涉及的主要概念、重要公式及据此推算的重要结果，要求准确、充分。

实验装置流程图和说明 简要地画出实验装置流程示意图，包括主要设备示意图、主要仪表和阀门，用箭头注明各流股走向；各部分名称可直接在图上标注，也可在图上标号后注明；图序和图题置于图的下方；对实验流程进行简要的文字说明。

实验操作及注意事项 将操作过程按步骤进行编号并作简单明了的叙述。

注意事项应注明容易引起危险、损坏仪器仪表或设备以及一些对实验结果有较大影响的操作。



原始数据记录表格 要求以表格的形式记录原始数据,该表格内容需包括:所用装置编号,需记录的实验参数及操作现象(包括实验中的异常数据和异常现象)等,如表 2-1 普通套管换热器实验数据记录表所示。

表 2-1 普通套管换热器实验数据记录表

第___套装置,换热管内径 d ___ m; 换热管长 l ___ m; 蒸汽表压 p ___ MPa						
项目 \ 序号	1	2	3	4	5	6
空气流量 $V_v/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$						
空气进口温度 $t_1/^\circ\text{C}$						
空气出口温度 $t_2/^\circ\text{C}$						
蒸汽进口温度 $T_1/^\circ\text{C}$						
蒸汽出口温度 $T_2/^\circ\text{C}$						
备注						

需要说明以下几点:

- ① 该表格是原始数据记录表格,处理后的数据不能记录在此。
- ② 凡是影响实验结果或者整理数据过程中需要的数据必须测取。如操作条件、设备有关尺寸、大气压强、室温等。
- ③ 凡可以根据某一数据导出或从手册中查取的数据,不必直接测定。如流体的物性参数:密度、黏度、热导率等,一般只要测出温度即可查出。
- ④ 关于表格格式作如下要求:
 - 表格格式要正规,简明扼要,方便阅读和使用。
 - 每个表格上方都应写明表号和表题(表名),表号应按报告中出现的先后顺序进行编号。
 - 表头应列出物理量名称、符号和计量单位。符号和计量单位之间用斜线“/”隔开。
 - 物理量的数值较大或较小时,用科学计数法表示。

2.1.2 实验操作

- ① 实验操作开始前应熟悉实验装置和流程,检查所需设备、仪器是否齐全和完好。
- ② 实验操作是所有成员共同完成,实验过程中各成员要合理分工合作,既要严守自己岗位,又要关心整个实验的进行。
- ③ 实验过程中要随时观察仪表指示值的变动,保证操作过程在稳定条件下进行,出现不符合规律的现象应及时观察研究,分析其原因,不要随意放过。
- ④ 若操作过程中发生故障,应及时向指导老师报告,以便进行处理。
- ⑤ 实验结束后需恢复至设备的原始状态。

2.1.3 实验数据读取和记录

- ① 必须真实记录实验数据,即使是发现不合理的数据也要如实记录,然后再进行分

析讨论。

② 待设备运转正常、操作稳定（相邻两次读数十分相同或接近）后方可读取数据。变更操作条件时，由于仪表读数滞后，需稳定一段时间才读数。

③ 实验过程中，由于实验环境或电子仪表的不稳定，常遇到仪表数据波动的情况。此时，应首先设法减小波动；若波动不能完全消除，可取一次波动的最高点和最低点两个数据的平均值；若波动不大时可取一次波动的高、低点之间的读数来估计中间值。

④ 实验数据记录要反映仪表的精度。一般要记录到仪表最小分度以下一位数，该位数为估计值。

⑤ 同一条件下至少要读取两次数据，而且只有当两次读数相接近时才改变操作条件。每个数据记录后必须复核，以防读错或记错。

⑥ 实验过程中应注意观察各种现象，特别是发现某些不正常现象应研究其产生的原因，并在备注栏中注明。

⑦ 每个实验做完后，所记录的数据需经指导老师检查合格并在原始数据记录表上签字确认后，才可结束实验，将使用的仪器设备整理复原。实验数据若有短缺或不合理应补全或重做。

2.1.4 实验数据处理和讨论

实验测得的大量数据需经过进一步处理，以得到各变量之间的定量关系，用来分析实验现象、得出规律、指导生产与设计等。

实验数据处理和讨论也是实验报告中最重要的一部分，写报告时一般要求按如下程序进行：首先以其中一组数据为例将完整的处理过程详细列出，再将所有数据的处理结果进行合理的表达（具体过程不用写出），最后结合处理结果进行分析和讨论，并对思考题进行解答。以下就对各部分的相关要求和知识进行介绍。

2.1.4.1 数据处理过程示例

以其中一组实验数据为例，将数据处理的详细计算过程写出。有多组数据时要求同组的各组员选择不同的数据进行处理，数据处理时要注意以下几点：

① 数据处理应根据有效数字的运算规则进行（参见本书 2.3 实验数据的误差分析和有效数字），舍弃不必要的尾数，以便与测量仪表的准确度相一致。

② 运算中尽可能利用常数归纳法。如在流体力学实验中，计算不同流量下的雷诺数 Re 时， $Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{4\rho Q}{\pi\mu d}$ ，其中 π 、 μ 、 ρ 、 d 为定值（水温变化不大时），可令 $K = \frac{4\rho}{\pi\mu d}$ ，则 $Re = KQ$ ，可使计算大大简化，减少错误。

③ 引用的数据要说明来源，简化公式要有导出过程。

④ 有些参数波动较小，可按平均值进行处理。如流体力学实验中，水温可按平均水温处理。同样，传热实验中，蒸汽温度也可按平均温度处理。

2.1.4.2 数据处理结果

在其中一组数据的详细处理过程清楚后，其余数据即可按相同过程进行处理（一般用 Excel 或 Origin 进行相关计算，参见本书 2.2 Origin 处理数据示例），得到总的数据处理



结果。在本部分，只需将所有数据处理结果表达出来即可，而处理过程不用写出。表达方式一般依次采用列表法、作图法和回归分析法，根据实验要求，也可只采用其中一种或几种形式表达，具体如下：

(1) 列表法

列表法是将所有数据的结果按自变量和因变量的关系列成计算结果数据表，具体可细分为中间运算表、最终结果表和误差分析表（表达实验值与理论值或参考值的误差范围）等，实验报告具体用到几个表，应根据具体实验情况而定。

中间运算表是记录数据处理过程的中间结果。使用该表可清楚表达中间计算步骤和结果，方便检查，如表 2-2 所示。

表 2-2 直管阻力的测定中间运算表

序号	水流量 $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	流速 $u/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	雷诺数 Re	直管压降 $\Delta p/\text{kPa}$	直管阻力 $h_f/\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	阻力系数 λ
1						
2						
...						

最终结果表只需简明扼要地表达主要变量之间的关系和实验结论即可，如表 2-3 所示。

表 2-3 直管阻力的测定最终结果

序号	雷诺数 Re	阻力系数 λ	$\lambda-Re$ 关系
1			
2			
...			

采用表格的形式表述数据处理结果，有利于观察物理量的变化规律，并且表格数据便于后续作图，实现图表结合。列表法的格式要求可参见本书 2.1.1 中原始实验数据记录的相关要求。

(2) 作图法

在列表法的基础上，进一步将整理得到的数据按因变量和自变量的依从关系标绘成曲线图，则是作图法。该法可直观清晰地看出数据中的极值点、转折点、周期性、变化率等，方便比较，并可根据所得图形进一步回归得到实验数据的经验公式，根据经验公式的常数可得到相关的物理量。准确的图形还可在不知数学表达式的情况下进行微积分运算，因此得到了广泛的应用。

图形可手工绘制，也可通过 Excel、Origin 等数据处理软件绘制（可参见本书 2.2 Origin 处理数据示例）。为了绘制准确、清晰、合理的图形，需注意以下几点：

① 坐标系的选择 常用的坐标系有直角坐标、单对数坐标（图 2-1）和双对数坐标（图 2-2）。

对数坐标是按坐标示值（变量值）的对数进行刻度的标注。如图 2-1、图 2-2 中坐标示值为 1、10、100、1000 时，对应的刻度值为 $\lg 1=0$ 、 $\lg 10=1$ 、 $\lg 100=2$ 、 $\lg 1000=3$ ，

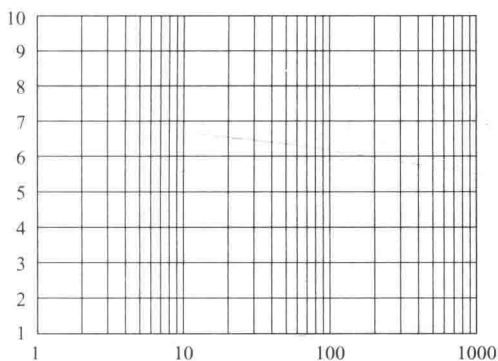


图 2-1 单对数坐标纸

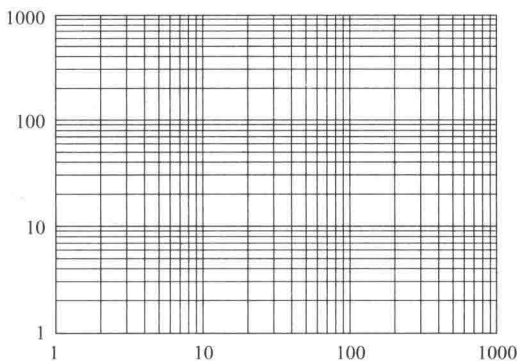


图 2-2 双对数坐标纸

可见对数坐标的刻度是不均匀的，坐标的原点也不是 $(0, 0)$ ，而是 $(1, 1)$ 。

对数坐标系中，若直线上任意两点的变量值为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ，则该直线的斜率为：

$$k = \frac{\lg y_2 - \lg y_1}{\lg x_2 - \lg x_1}$$

在对数坐标中绘图可采用市售对数坐标纸，如图 2-1、图 2-2 所示。若有特殊要求，可以任选单位长度参照上述原理自行设计对数坐标。除常用对数外，也可取自然对数标注刻度。

坐标系的选取一般根据变量间的函数关系进行，原则是尽量使变量数据的函数关系接近直线，方便数据处理，具体如下：

- 直角坐标：变量间为线性关系形如 $y = ax + b$ 。
- 单（半）对数坐标：指数函数关系形如 $y = a^{bx}$ ，因 $\lg y$ 与 x 呈直线关系。
- 双对数坐标：幂函数关系形如 $y = ax^b$ ，因 $\lg y$ 与 $\lg x$ 呈直线关系。

另外，若自变量和因变量两者均在较大的数量级范围内变化，可用双对数坐标；若只是一个变量在较大数量级范围内变化，则可选择单对数坐标。

② 坐标分度值的选择 绘图时还应注意坐标分度值的选择。坐标分度（比例尺）是指坐标轴上单位长度（通常为 1cm）所代表的物理量的大小。其选择极为重要，原则是要能表示全部有效数字，方便读数和计算，并能充分利用图纸的全部面积，使全图布局均匀合理。如果选取不当，不仅会使图形失真，而且会得到错误的结论。一般按如下原则确定：在已知 x 和 y 的误差分别为 Δx 、 Δy 的情况下，比例尺的取法应使 $2\Delta x$ 、 $2\Delta y$ 构成的矩形近似为正方形，并使 $2\Delta x = 2\Delta y = 1 \sim 2\text{mm}$ ，如已知温度误差为 0.05°C ，则比例尺 $M_T = \frac{1 \sim 2\text{mm}}{0.1^\circ\text{C}} = 10 \sim 20\text{mm}/^\circ\text{C}$ ，此时 1°C 的坐标长度为 $10 \sim 20\text{mm}$ 。如坐标长度选择适当，则图形可清晰地表现变量间的变化关系，绘出的图形匀称、居中，全部实验数据都容易从图中读取。

③ 作图格式规范 一个完整的数据图应包括：图号，图名， X 、 Y 坐标轴及其代表的物理量，坐标刻度，带数据点的图线等要素；两坐标轴侧要标明变量符号、单位和分度值。变量符号和单位间用“/”分隔开。如流量可标注为“ $Q/(\text{m}^3/\text{h})$ ”或“ $Q/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ”；数据点应用符号（▼▲◆●等）标识，并根据趋势描绘成光滑的曲线。同一图上有多条曲线

时, 不同曲线用不同的符号表示。如图 2-3 所示。

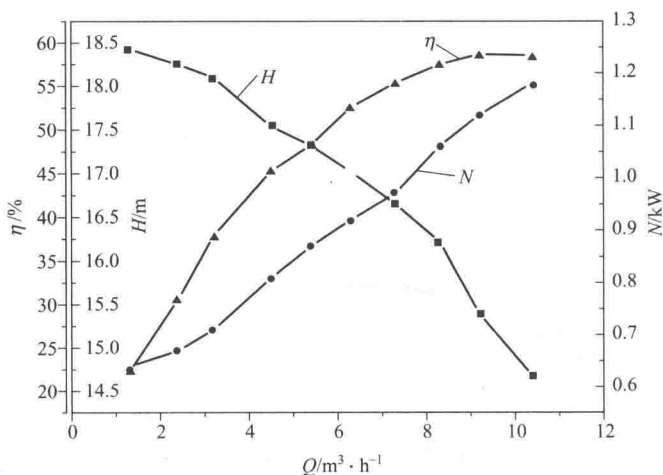


图 2-3 离心泵的特性曲线

(3) 回归分析法/方程法

在化工原理实验中, 除了用列表法和作图法表达变量间的关系外, 还可将实验数据整理成方程式, 亦即数学模型或经验公式, 并进一步得到有关的变量值。其方法是: 将根据作图法绘制的曲线, 与已知的函数关系式的典型曲线进行对照选择并线性化, 然后用图解法或回归分析确定函数式中的各种常数。所得函数表达式能否准确反映实验数据间的关系, 还需通过检验确认。特别是计算机的普及应用, 为回归分析提供了极大的方便。化工中常用的数据处理软件有 Excel、Origin 和 Matlab 等。Origin 软件处理化工原理实验数据的过程可参见本书 2.2 Origin 处理数据示例。

2.1.4.3 实验结果分析与讨论

结合实验结果对以下问题进行分析 and 讨论:

- ① 从理论上对实验所得结果进行分析和解释, 说明其必然性。如果是验证型实验, 还需将实验结果与理论结果进行对比, 说明结果的异同, 并解释原因。
- ② 对实验中的异常现象进行分析讨论。
- ③ 分析误差的大小和原因 (见本书 2.3 相关内容介绍), 讨论如何提高测量精度。
- ④ 分析本实验结果在生产实践中的价值和意义。
- ⑤ 对实验方法和装置提出改进等。

实验结果分析和讨论是实验报告中的点睛之笔, 讨论的内容不必面面俱到, 可重点深入某一两个方面。凡无实验讨论或对讨论敷衍者, 其他部分做得再好都是一份不合格的实验报告。

2.1.4.4 思考题

结合实验结果对本书每个实验后的思考题进行解答。

2.1.5 实验报告的撰写

实验完成后要进行实验报告的撰写, 实验报告的撰写不拘泥于一种形式, 既可以用通

用的实验报告格式书写，也可以小论文等形式表达。一份合格的实验报告要求简明扼要、条理清晰、数据完整、图表规范、结论正确、有讨论、有分析。通过撰写实验报告，使学生在数据处理、分析、归纳和解决实际问题方面的能力得到提高。

就通用的实验报告撰写格式而言，一份完整的实验报告除了包括实验名称、实验者、实验日期等基本信息外，还应包括以下几方面内容：①实验目的；②实验原理；③实验装置及流程；④实验操作及注意事项；⑤实验数据记录；⑥数据处理及讨论等，各部分的具体要求及知识前面已做相关介绍。

2.2 Origin 处理数据示例

Origin 是美国 Microcal 公司开发的具有强大功能的实验数据处理软件，具有数据分析和科学绘图两大类型的功能，它的数据分析功能包括数据的排序、计算、统计、曲线拟合等。Origin 绘图时，可在同一幅图上作出多条实验曲线，也可绘制多层图形，使用多个坐标轴；在存在多条曲线的情况下，可以选择不同线型，也可用不同的符号加以标记。以下通过几个实例加以介绍。

例2-1 对 CaCO_3 悬浮液用板框压滤机进行恒压过滤实验，得到如表 2-4 恒压过滤实验测定计算结果所示的结果，试求此压力下的过滤常数 K 和 q_e 。

表 2-4 恒压过滤实验测定计算结果

θ/s	50.3	84.2	122.3	163.4	207.9	254.2	300.9
$\bar{q}/\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13
$(\Delta\theta/\Delta q)/\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$	1123	1396	1660	1869	2118	2289	2526

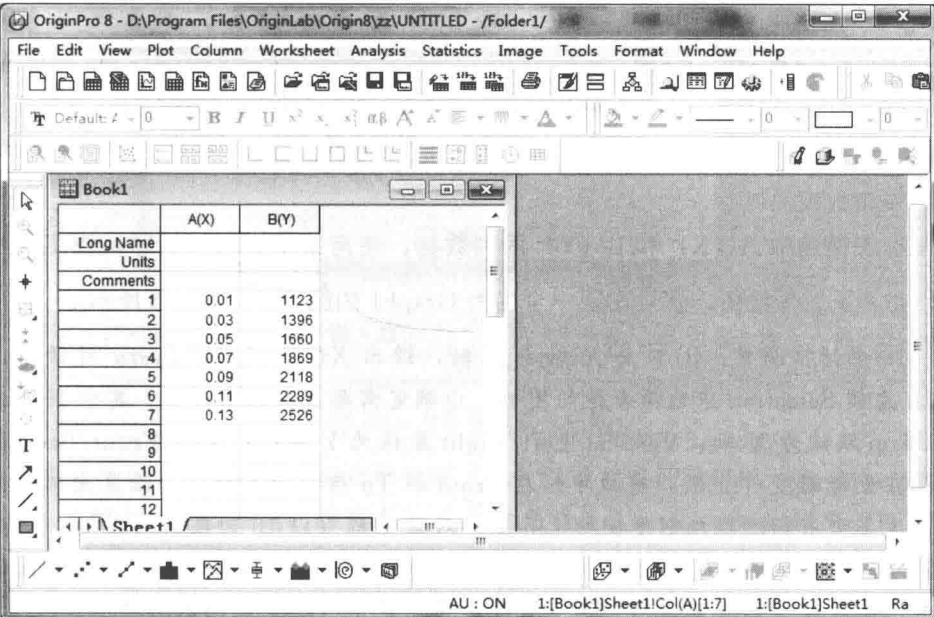


图 2-4 输入绘图数据



卷解：根据 $\frac{\Delta\theta}{\Delta q} = \frac{2}{K}\bar{q} + \frac{2}{K}q_c$ ，将 $\frac{\Delta\theta}{\Delta q} - \bar{q}$ 作图得一直线，读取直线的斜率和截距可求得过滤常数 K 和 q_c ，具体步骤如下所述：

(1) 启动 OriginPro 8.0 并输入数据

在“开始”菜单单击 OriginPro 8.0 图标，启动 Origin。启动后，Origin 自动给出名为 Book1 的工作表格，分别将 $\bar{q}$ 和 $\Delta\theta/\Delta q$ 的数据输入表格中的 A(X) 列和 B(Y) 列，见图 2-4。

注：1. 如表格列数不够，可激活 Book1 窗口，选择菜单命令 Column | Add New Columns.../按 Ctrl+D 快捷键。

2. 列的设置：双击 Worksheet 灰色表头区域，即弹出 Column Properties 对话框，如图 2-5 所示。可编写列所代表的物理量、符号及单位等。

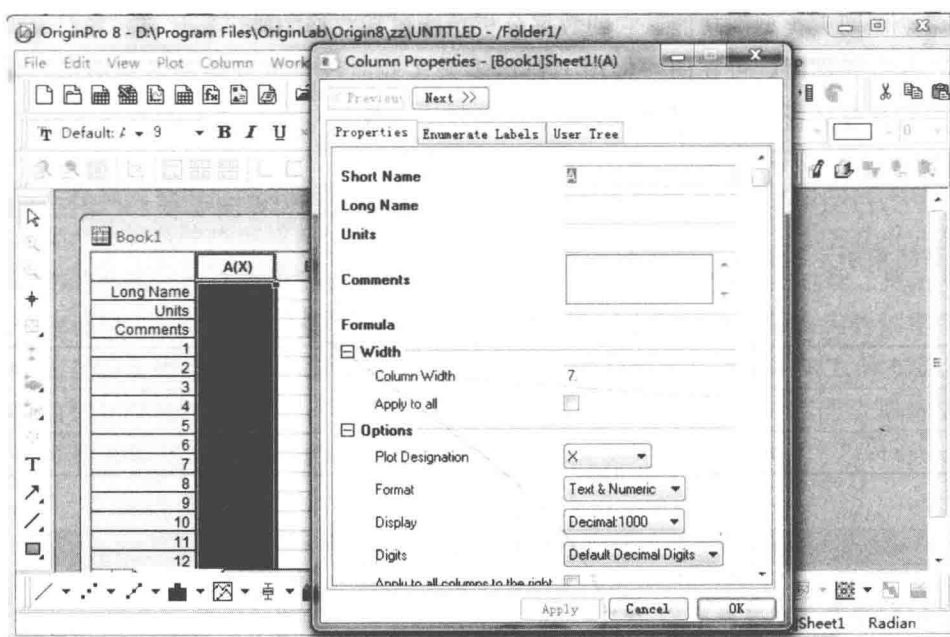


图 2-5 Worksheet 列的设置

(2) 使用数据绘图

用鼠标左键选中 A (X) 和 B (Y) 两列数据，使用菜单 Plot (绘图) 或工具栏中的 Scatter (散点)  绘图，便可出现一个名为 Graph1 的图形，如图 2-6 所示。

注：1. 坐标轴调整：①双击 X 轴或 Y 轴，弹出 X(Y) Axis-Layern 对话框，见图 2-7。可在左侧 Selection 中选择合适的图标，以确定需要更改的坐标轴。其中 Horizontal/Bottom/Top 默认为 X 轴；Vertical/Left/Right 默认为 Y 轴；Z Axis/Front/Back 默认为 Z 轴。②在坐标刻度 (Scale) 窗口中，在 From 和 To 栏内输入数值，设置坐标轴的数值范围。刻度类型有标准线性刻度坐标 Linear、对数坐标 (以 10 为底的对数 lg，自然对数 ln，以 2 为底的对数 log₂)、倒数刻度 Reciprocal 等多种。若在 Increment 位置输入值，决定轴上显示的数值。如设置递增值为 4，则每隔 4 显示一个坐标轴的数值。若在 # Major 位置输入值，Origin 将自动设置与之相近的主刻度标记的数量。在 # Minor 位置输入值，

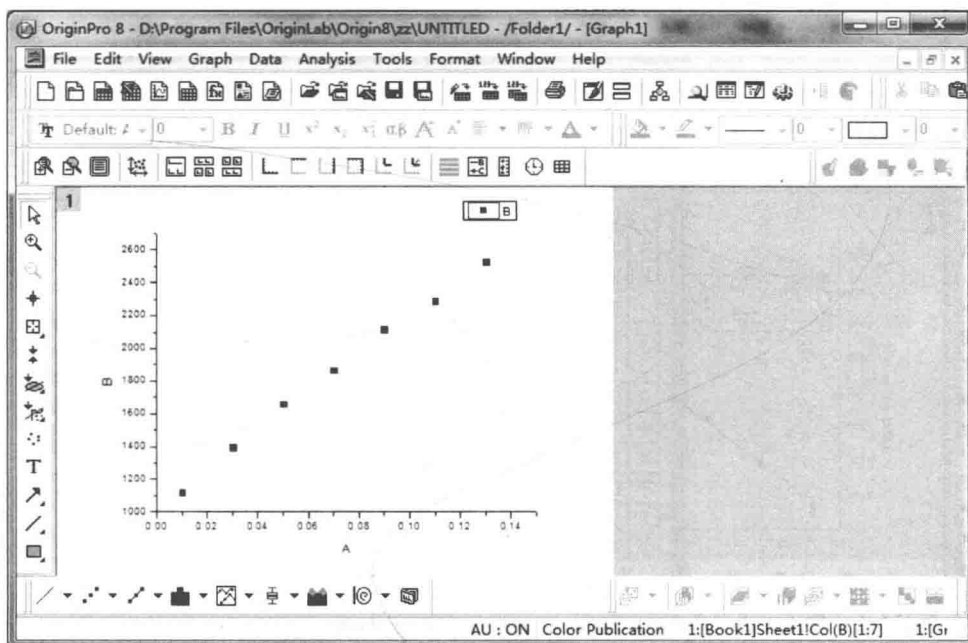


图 2-6 图形绘制

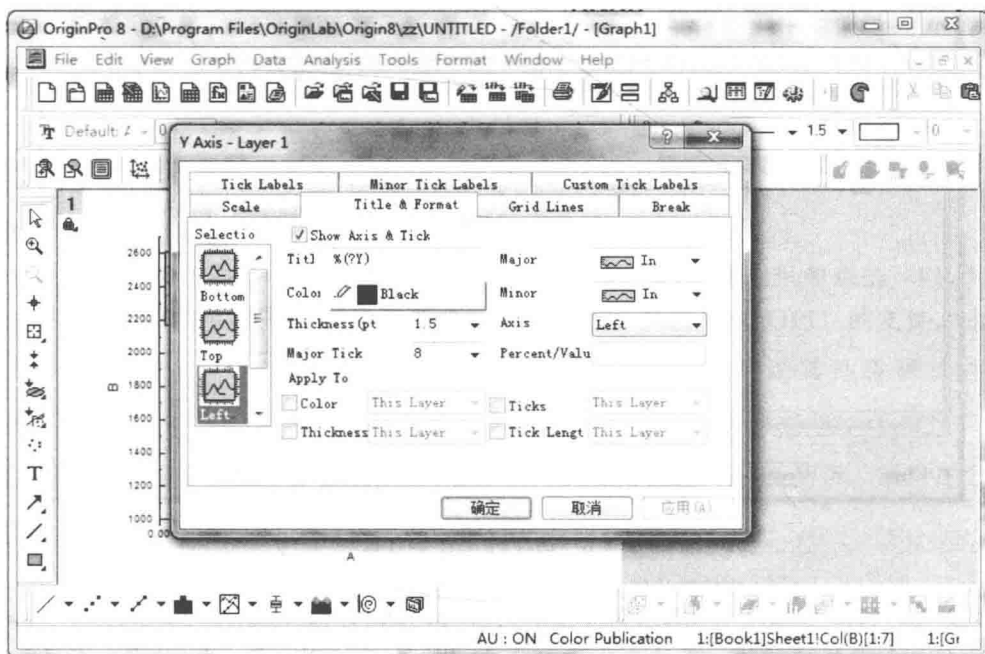


图 2-7 坐标轴设置对话框

设置两个主刻度之间的次级刻度标记的数量（注：注意刻度的合理性，如 increment 为 5，则 # Minor 处输入 4 比较合适，这样每个次级刻度代表 1）。③坐标轴标签的修改：双击坐标轴标签，在 (Title&Format) 窗口中，Title 可输入坐标轴标题，如有特殊字符输入，可双击坐标轴标题，单击右键，点击 Symbol Map（快捷键“Ctrl+M”），打开 Symbol Map 符号库进行选择，如图 2-8 所示；Color 选择轴和刻度的颜色，Major 和