

卓越

工程师教育培养计划系列教材

ZHUOYUE GONGCHENGSHI
JIAOYU PEIYANG JIHUA XILIE JIAOCAI

王卫东 徐洪军 主编

张振坤 刘放 副主编

化工原理实验

HUAGONG YUANLI SHIYAN



化学工业出版社

卓越

工程师教育培养计划系列教材

王卫东 徐洪军 主编

张振坤 刘放 副主编

化工原理实验



化学工业出版社

· 北京 ·

《化工原理实验》共 8 章, 内容包括实验误差分析和数据处理、化工实验测量技术与常用仪表、基础与综合实验、选做与演示实验、化工原理实验仿真、化工原理实验室常用仪器的使用方法、化工原理实验常用程序和化工原理实验报告的撰写。

本书以处理工程问题的实验研究方法为主线, 着重于理论联系实际, 并强调工程能力、创新思维和创新能力的培养, 实用与理论兼顾。

本书可供高等院校化学工程与工艺及其他相关专业作为化工原理实验课的教材或参考书, 也可供在化工、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。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理实验/王卫东, 徐洪军主编. —北京: 化学工业出版社, 2017. 8
卓越工程师教育培养计划系列教材
ISBN 978-7-122-29989-5

I. ①化… II. ①王…②徐… 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 (2017) 第 145039 号

责任编辑: 徐雅妮
责任校对: 王素芹

文字编辑: 丁建华
装帧设计: 关 飞

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: 三河市航远印刷有限公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 字数 263 千字 2017 年 10 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: 30.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书根据高等院校化工原理实验教学的实际需要和课程体系的基本要求,结合“卓越工程师教育培养计划”和“全国工程教育专业认证”指标体系的人才培养要求,融合吉林化工学院及兄弟院校多年的实践教学经验和改革成果编写而成。

本书强调化工实验过程的共性问题,突出实验教学应具有实践性和工程性,力求通过实验培养学生综合运用理论知识解决实际问题,掌握正确表达实验结果的方法,旨在开拓学生的实验思路,学习新技术和新方法,培养学生综合能力和团队协作精神。本书在编写过程中以应用为目的,介绍科学安排实验和定量评价实验结果的方法(第1、7章);以正确掌握和运用测控技术为原则,精编了化工实验测量技术与初步过程控制的方法(第2、6章);以多年完善后的化工原理实验装置为蓝本,编排以培养学生实践能力为目的的化工原理实验(第3、4章);以强化仿真技术与实验的融合为目的,介绍化工原理实验仿真(第5章);以培养学生实验报告的撰写能力为目的,编入化工原理实验报告的撰写(第7章)。

本书由王卫东、徐洪军主编,由张振坤、刘放副主编,计海峰、刘保雷、戴传波等参加了编写。袁博、孙健等参加了本书部分文字整理、素材搜集与制作等工作。本书承蒙吉林化工学院庄志军教授主审,并提出许多宝贵意见。

在本书编写过程中得到了北京化工大学杨祖荣教授和王宇副教授、中国石油吉林石化分公司化肥厂张玉玲高级工程师的支持和帮助,对此表示衷心的感谢!

在本书的编写过程中,吉林化工学院张卫华高级工程师、曾庆荣教授、潘高峰副教授对书稿提出了许多宝贵意见,在此致以诚挚的感谢!

由于时间仓促和水平有限,书中难免存在不足之处,衷心希望读者指正。

编者

2017年5月

目 录

0 绪论/ 1

0.1 化工原理实验课特点	1
0.2 化工原理实验目的	1
0.3 化工原理实验的教学要求	2
0.4 化工原理实验室规则	3

第1章 实验误差分析和数据处理/ 5

1.1 有效数字和实验结果的表示	5
1.1.1 有效数字	5
1.1.2 科学计数法	5
1.1.3 有效数字的运算	6
1.2 实验数据的真值与平均值	6
1.2.1 真值	6
1.2.2 平均值	6
1.3 实验数据的误差来源及分类	7
1.4 误差分析与表示	8
1.4.1 直接测量与间接测量	8
1.4.2 直接测量结果的误差分析	8
1.4.3 误差传递	9
1.5 实验数据的精密度、正确度和准确度	11
1.6 数据处理方法	11
1.6.1 实验数据列表法	12
1.6.2 实验数据的图示(解)法	13
1.6.3 用数学方程式表示实验结果	14
1.6.4 实验数据的插值法	19
1.6.5 化工数据的相关性	20

第2章 化工实验测量技术与常用仪表/ 23

2.1 温度测量	23
2.1.1 热电偶温度计	23

2.1.2	热电阻温度计	26
2.1.3	测温仪表的选择与比较	27
2.2	压力测量	28
2.2.1	液柱式压力计	29
2.2.2	弹性压力计	29
2.2.3	电测压力计	30
2.2.4	压力计的校验和标定	31
2.3	流量测量	31
2.3.1	差压式流量计	31
2.3.2	转子流量计	32
2.3.3	湿式流量计	32
2.3.4	涡轮流量计	32
2.3.5	质量流量计	32
2.3.6	流量计的检验和标定	33

第3章 基础与综合实验/ 34

3.1	流体流动阻力测定实验	34
3.2	流量计的标定实验	39
3.3	离心泵特性曲线测定实验	43
3.4	恒压过滤常数测定实验	48
3.5	板框过滤实验	52
3.6	包裸管热损失实验	55
3.7	空气对流传热系数的测定	60
3.8	传热平台实验	65
3.9	氧解吸实验	69
3.10	精馏实验	76
3.11	萃取实验	81
3.12	流化床干燥实验	86
3.13	萃取精馏法制无水乙醇实验 (综合类创新实验)	91
3.14	膜蒸馏实验 (综合类创新实验)	94
3.15	传质分离与精制实验 (综合类创新实验)	103
3.16	连续精馏综合实验 (操作实训类实验)	107

第4章 选做与演示实验/ 112

4.1	伯努利方程实验	112
4.2	流线演示实验	113
4.3	雷诺实验	114
4.4	动态过滤实验	116
4.5	升膜蒸发实验	118
4.6	温度校正实验	120

4.7 压力仪表标定实验	122
第5章 化工原理实验仿真/ 124	
5.1 仿真技术简介	124
5.2 化工原理实验仿真软件	124
5.3 系统功能	125
5.3.1 授权中心的使用	126
5.3.2 思考题测试的使用方法	127
5.3.3 参数配置功能的使用	128
5.3.4 数据处理的使用	129
5.3.5 实验报告	130
5.3.6 网络控制（学生站）	131
5.3.7 网络控制（教师站）	132
5.3.8 电源开关的使用	134
5.3.9 阀门的调节	134
5.3.10 压差计读数	135
第6章 化工原理实验室常用仪器的使用方法/ 136	
6.1 变频器	136
6.1.1 面板说明	136
6.1.2 变频器的简易操作步骤	137
6.1.3 注意事项	137
6.1.4 操作示范	137
6.2 AI人工智能调节器	137
6.2.1 面板说明	137
6.2.2 基本操作	138
6.2.3 AI人工智能调节器及自整定（AT）操作	138
6.2.4 功能及设置	139
6.2.5 使用举例	141
6.3 阿贝折射仪	141
6.3.1 工作原理与结构	141
6.3.2 使用方法	142
6.3.3 注意事项	142
第7章 化工原理实验常用程序/ 143	
7.1 VBA 编程基础	143
7.1.1 VBA 程序组成	143
7.1.2 Excel 环境下用 VBA 编程	143
7.1.3 Excel 的 Visual Basic 编辑器	145
7.1.4 编辑及运行程序	147

7.2 实验数据的 Excel 图示方法	148
7.2.1 图表的基本概念	148
7.2.2 建立图表举例	149
7.3 一元线性回归程序	153
7.4 插值计算程序	155

第 8 章 化工原理实验报告的撰写/ 157

8.1 实验报告的撰写要求	157
8.2 实验报告撰写示例	159

附录/ 166

附录 1 实验室的防火与用电知识简介	166
附录 2 化工原理实验常见故障的原因与排除方法	167

参考文献/ 169

绪 论

0.1 化工原理实验课特点

化工原理是研究化工生产过程中各种单元操作的工程学科。化工原理实验不同于基础性实验课，它属于工程性实验范畴。工程性实验一方面是为了生产实际的需要；另一方面也是为了研究化工过程中量与量之间的内在联系，找出能为实际所接受的一般规律，并为进一步开发工程性实验服务。因此，认真对待化工原理实验，对于化工单元操作设备的设计，对学习和掌握有关测量方法、手段以及学会运用基础知识整理实验结论，都具有非常重要的指导意义。

0.2 化工原理实验目的

化工原理实验课是化工原理教学中的重要组成部分，是以化工原理课程为基础的一门实验课程。它与一般化学实验课的不同之处在于其强调实践性，注重工程观念。因此，通过实验应达到以下目标。

(1) 培养学生从事实验研究的能力

工科高等院校的毕业生必须具备一定的实验研究能力。实验能力主要包括：为了完成一定的研究课题设计实验方案的能力；对化工装置及测量仪表的选择、使用、操作、故障处理、过程控制及准确获得数据的能力；对化工单元操作中各种问题的发现、分析、解决，运用计算机及软件处理实验数据的能力；对基础化工实验结果的归纳总结能力。通过对学生能力方面的培养和锻炼，为他们将来从事实验研究及解决工程上的实际问题打下初步的基础。

(2) 培养学生实事求是、严肃认真的学习态度

实验研究是实践性很强的工作，对实验者的要求很高。化工原理实验课要求学生具有一丝不苟的工作作风和严肃认真的学习态度，从实验操作、现象观察到数据处理等各个环节都不能有丝毫马虎。如果粗心大意、敷衍了事，轻则实验数据不真实，得不出什么有价值的结论，重则会造成设备或人身事故。

总之，实验教学对于学生能力的培养是不容忽视的，对学生动手和解决实践能力能力的锻炼是理论教学无法代替的。化工原理实验教学对于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进行。

0.3 化工原理实验的教学要求

化工原理实验是学生第一次接触用工程装置进行的实验，学生往往会感到陌生，无从下手。实验操作分组进行，容易使个别学生产生依赖心理，为了保证教学效果，要求每个学生必须做到以下几点。

(1) 实验前的预习

学生在实验前必须认真地预习实验指导书，并根据需要查阅有关参考书，清楚地了解实验目的、要求、原理、步骤及方法，对实验所涉及的测量仪表也要预习其使用方法。实验预习报告内容应包括：实验目的或任务、基本原理及实验设计方案、实验装置流程、实验操作要点、注意事项，设计并绘制原始数据的记录表格（注意统一法定单位）。

实验前要充分准备（见图 0-1），了解现场及安全知识，摸清实验装置及流程测试部位、操作控制点，了解使用的检测仪器、仪表，熟悉使用方法及所测数据的变化趋势，做到心中有数，并预先做出原始记录表格，对实验预期结果、可能发生的故障和排除故障的方法做出合理的判断。

学生的预习情况需经指导教师提问检查，合格后方可进行实验。

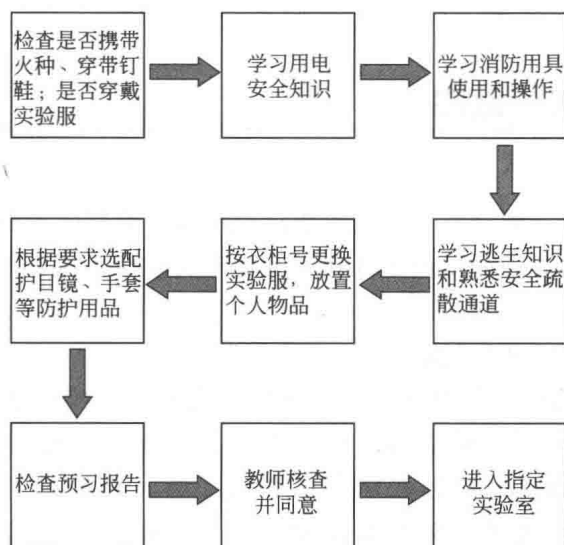


图 0-1 实验前的准备流程

(2) 实验中的操作训练要求

实验操作是动手、动脑的重要过程，学生一定要严格按照操作规程进行。实验前，首先要组织好实验小组并确定负责人，在讨论、拟定实验方案后做好分工，在允许的情况下，适当调换分工可以使学生得到多方面的锻炼。

涉及电器及运转机械设备时，必须领会操作要领，要想到如果不按规则进行可能出现的

事故，以防事故的发生。例如，容积性输送机械不打开旁路阀将会造成电机负载过大，转子流量计不关阀门会造成转子冲击损坏玻璃管等。

(3) 实验操作中问题的处理

在实验操作过程中，只要注意观察，会随时发现各种问题，此时应该积极思考，结合学过的知识，进行分析判断，找出正确的答案和解决问题的办法。

例如，在使用倒 U 形管式压差计时，改变流量，压差计的两液面会出现同时上升和下降现象，是什么原因？这种现象对实验结果是否会有影响？通过分析可知，这是因为流量改变时，管路内压强发生变化作用到压差计上，使压差计上面的气体压缩或膨胀而造成的液面变化。如果测压导管中无气泡存在，这种变化并不影响压差的测定，但是液面升降会影响压差计的测量范围。导致管内压强变化的原因，除正常直管摩擦阻力因素外，还可能是出口处阀门没有全开或通过小转子流量计局部阻力过大等。这样就可以找到解决问题的办法。

在实验过程中出现各种故障和不正常现象，在某种意义上讲是难免的，在保证安全的前提下要提高对问题的处理能力。问题的出现有主观原因和客观原因。主观原因是事先准备工作、预习、实验方案方面的欠缺。客观原因则是实验条件不能绝对保证，如中途发生停水、停电或实验装置本身某零部件损坏、运转不灵等，这就要求实验人员发现问题要及时，处理也要及时。一般来讲，发现故障或出现不正常现象而与实验预想明显不符时，要及时报告指导教师，同时自己也应认真思考，分析原因并提出自己的看法。对问题处理的过程也是能力锻炼的过程。

(4) 实验后的总结

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，是学生用文字表达技术资料的一种训练。不少学生对实验报告没有给予足够的重视，或者不会用准确的科学数字和观点来书写报告，图形表达也缺乏训练，因此，对学生来说，需要严格训练编写实验报告的能力，要能将实验中测得的数据、观察到的现象、计算结果和分析结论等用科学的术语表达出来。这对今后写研究报告和科研论文是必不可少的。

0.4 化工原理实验室规则

① 穿好实验服，准时进入实验室，不迟到、不早退，不无故旷课，有事请假；保持实验室内的安静，不大声谈笑，不要穿拖鞋进入实验室；遵守实验室的一切规章制度，听从实验指导教师指挥。

② 实验前要认真预习，写好预习报告，经实验指导教师检查通过后，方可操作，与本实验无关的仪器设备，不准乱摸乱动。

③ 实验操作时，要严格遵守仪器、设备、电路的操作规程，不得擅自变更，操作前须经教师检查同意后方可接通电路、进行仪器操作。操作中要仔细观察，如实记录实验现象和数据。当仪器设备发生故障时，严禁擅自处理，应立即报告实验指导教师，并于下课前填写破损报告单，由实验指导教师审核上报处理。

④ 实验后根据原始记录处理数据、分析问题，并及时做好实验报告。

⑤ 爱护仪器、注意安全，水、电、气和药品要节约使用。

⑥ 保持实验室整洁，废品、废物丢入垃圾箱内。衣物、书包、书籍等物品要放到指定的位置上，严禁挂到设备上。

⑦ 实验完毕后，记录数据需经实验指导教师审查签字，做好室内卫生的清理工作，将使用的仪器设备恢复原状，关好门、窗，检查水、电、气源是否关好，确保关好后方可离开实验室。

第 1 章

实验误差分析和数据处理

误差分析的目的就是评价实验数据的精确性或误差。通过误差分析，可以认清误差的来源及影响，并设法排除数据中所包含的无效成分，在实验中注意哪些是影响实验精确度的主要方面，细心操作，从而提高实验的精确度。

通过实验测得的原始数据需要进行计算，将最终的实验结果归纳成经验公式或图表的形式表示，以便与理论结果比较分析。因此由实验获得的数据必须经过正确的处理和分析，只有正确的结论才能经得起检验。

下面介绍有关误差分析和数据处理等方面的基本知识。

1.1 有效数字和实验结果的表示

1.1.1 有效数字

实验数据或根据直接测量值计算所得的结果，总是以一定位数的数字来表示，那应该取几位数才是有效的数字呢？这要根据测量仪表的精度来确定，一般应记录到仪表最小刻度的 $1/10$ 位。例如，某液面计标尺的最小分度为 1mm ，则读数可以到 0.1mm 。测定时，如液位高在刻度 524mm 与 525mm 之间，则可记液面高度为 524.5mm ，其中前 3 位是直接读出的，是准确的，最后 1 位是估计的，是欠准的或可疑的，称该数据有 4 位有效数字；如液位恰在 524mm 刻度上，则数据可记为 524.0mm ，若记为 524mm ，则失去了 1 位精度。

总之，有效数字中应有且有 1 位（末位）欠准数字。应该指出，欠准数字与误差没有直接关系。

1.1.2 科学计数法

在科学与工程中，为了清楚地表达有效数字或数据的精度，通常将有效数字写出并在第 1 位数后加小数点，而数值的数量级由 10 的整数幂来确定，这种以 10 的整数幂来记数的方法称为科学记数法。例如， 0.0088 （有效数字 2 位）应记为 8.8×10^{-3} ， 88000 （有效数字 3 位）记为 8.80×10^4 。

注意：科学记数法中，10 的整数幂之前的数字应全部为有效数字。

1.1.3 有效数字的运算

有效数字计算,得到的结果仍然存在“有效”和“无效”的问题,要正确表示计算结果需要遵循以下法则。

① 加减法的运算。不同有效数字相加减,其和或差的有效数字位数应与其中有效数字位数最少的相同。例如,测得设备进出口的温度分别为 65.58°C 与 30.4°C ,则

温度和: $65.58 + 30.4 = 96.0 (^{\circ}\text{C})$

温度差: $65.58 - 30.4 = 35.2 (^{\circ}\text{C})$

如果结果中有 2 位欠准值,则与有效规则不符,故第 2 位欠准数应舍去,按四舍五入法,其结果应为 96.0°C 与 35.2°C 。

② 乘除法计算。积或商的有效数字,其位数与各乘、除数中有效数字位数最少的相同。

③ 乘方、开方与指数运算。乘方、开方与指数运算后的有效位数小于或等于底数的有效位数。

④ 对数运算。对数的有效数字位数与其真数相同。

⑤ 在 4 个数以上的平均值计算中,平均值的有效数字可比各数据中的最小有效位数多 1 位。

⑥ 所有取自手册上的数据,其有效数字按计算需要选取,但原始数据如有限制,则应服从原始数据。

⑦ 一般在工程计算中取 3 位有效数字已足够精确,在科学研究中根据需求和仪器的精确度,可以取 4 位有效数字。

1.2 实验数据的真值与平均值

1.2.1 真值

真值是指某物理量客观存在的实际值。由于误差存在的普遍性,通常真值是无法测定的,是一个理想值。在分析实验测定误差时,通常以如下方法来选取真值。

① 可以通过理论证实的已知值。例如,平面三角形的内角之和等于 180° ;计量学中经国际计量大会约定的值,如热力学温度单位的绝对零度等于 -273.15°C 。

② 可以相对地将准确度高一级的测量仪器所测得的值视为真值。

③ 可以近似将实验过程中,符合误差分布规律、测量次数无限多、无系统误差的值加以平均,看作真值。

1.2.2 平均值

在化工实验中,经常将多次实验值的平均值作为真值的近似值。平均值的种类很多,在处理试验结果时常用的平均值有以下几种。

(1) 算术平均值

算术平均值是最常用的一种平均值。设有 n 个实验值 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 则它们的

算术平均值为

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

式中 x_i ——第 i 个实验值；

n ——实验值的个数。

同样条件下，凡是测量值的分布服从正态分布时，用最小二乘法原理可证明：在一组等精度的测量中，算术平均值为最佳值或最可信赖值。

(2) 均方根平均值

均方根平均值常用于计算气体分子的动能，其定义为

$$\bar{x}_{\text{均}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1-2)$$

(3) 对数平均值

在化学反应、热量与质量传递中，分布曲线多具有对数特性，此时可以采用对数平均值表示量的平均值。设有两个数值 x_1 、 x_2 都是正值，则它们的对数平均值为

$$\bar{x}_{\text{对}} = \frac{x_1 - x_2}{\ln x_1 - \ln x_2} = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}} = \frac{x_2 - x_1}{\ln \frac{x_2}{x_1}} \quad (1-3)$$

注意：两数的对数平均值总是小于或等于它们的算术平均值。若 $\frac{1}{2} \leq \frac{x_1}{x_2} \leq 2$ ，则可用算术平均值代替对数平均值，引起的误差不超过 4.4%。

(4) 几何平均值

设有 n 个正实验值 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$ ，则它们的几何平均值为

$$\bar{x}_{\text{几}} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} = (x_1 x_2 \cdots x_n)^{\frac{1}{n}} \quad (1-4)$$

对上式的两边同时取对数得

$$\lg \bar{x}_{\text{几}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \quad (1-5)$$

可见，当一组实验值取对数后所得到数据的分布曲线呈对称时，宜采用几何平均值。一组实验数值的几何平均值常小于算术平均值。

1.3 实验数据的误差来源及分类

误差是实验测量值（包括间接测量值）与真值（客观存在的准确值）之差。误差的大小表示每一次测得值相对于真值的不符合程度。误差有以下含义：① 误差永远不等于零；② 误差具有随机性；③ 误差是未知的。

按性质和产生原因不同，误差可分为系统误差、随机误差和过失误差 3 类。

(1) 系统误差

由于测量仪器不良，如刻度不准、零点未校准；或测量环境不标准，如温度、压力、风速等偏离校准值；实验人员的习惯和偏向等因素所引起的误差统称为系统误差。这类误差在一系列测量中，大小和符号不变或有固定的规律，经过准确校正可以消除。

(2) 随机误差

随机误差是由一些不易控制的因素引起的,如测量值的波动、肉眼观察欠准确等。这类误差在一系列测量中的数值和符号是不确定的,而且是无法消除的,但它服从统计规律,也是可以认识的。

(3) 过失误差

过失误差主要是由实验人员粗心大意,如读数误差、记录误差或操作失误所致。这类误差往往与正常值相差很大,应在整理数据时加以剔除。

1.4 误差分析与表示

化工原理误差分析主要是指利用误差及误差传递理论对实验结果进行误差标定(指随机误差),找出全值可能存在的误差范围和影响因素。

由于测量工具的局限性、影响因素的随机性等,真值是测不出来的,因此应用中的误差概念是指对测量结果可靠程度的估算和表示。这种估计常采用绝对误差 Δx 或相对误差 ϵ 来表示。于是测量结果可以表示成

$$\text{被测量值} = x \pm \Delta x, \epsilon = \frac{\Delta x}{x}$$

式中 x ——测量的有效数据,一般采用多次测量的平均值。

相对误差可以理解为真值在 x 附近正负 Δx 范围内有多大的可能性或测量值在此范围内出现的概率,这种可能性用概率表示时要看采用什么方法表示 Δx 值。

例如,可用多次测量的算术平均值表示 x 值,用算术平均值的标准误差 $\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 表示

Δx 。其中, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}$ 称为标准误差, n 为测量次数。因此,实验中的误差分析可认为是合理找出 x 、 Δx (或 ϵ) 的过程。

1.4.1 直接测量与间接测量

实验中的测量可分为直接测量和间接测量。直接测量是指被测物理量的数值,用测量工具(或仪表)直接记录下来的数据;而间接测量则是用直接测量数据通过已知的数学关系式计算得到的结果。直接测量结果所产生的误差会影响到间接测量结果的误差,因此,正确分析和得到直接测量误差是很重要的。

1.4.2 直接测量结果的误差分析

如果一个实验设计合理,装配正确,测量工具校准可靠,实验人员认真、熟练,那么应该可以消除系统误差和过失误差。因此,对直接测量结果的误差分析,一般是指对不可避免的随机误差进行分析。

由于随机误差是客观存在的,对同一量进行多次测量,会产生不同的测量结果,故为了提高被测量值的准确度,可采用多次测量的办法,即把多次测量的平均值(如算术平均值)作为测量值,用随机误差有关理论进行误差表示(如用均方根误差表示一组随机的误差)及

对测量值的结果进行评价。

但是，并不是任何结果通过多次测量就可以提高准确度，这与测量对象、测量方法和测量工具的精密程度有关。在化工原理实验中，对每个被测量一般只测量一次，那么原始数据的误差分析即是直接测量结果的误差分析。

直接测量结果（原始数据）的绝对误差可采用估计法。在假设没有系统误差和过失误差的情况下，可将测量工具的误差作为一次性直接测量结果的误差。这种估计方法的道理在于，多次测量是为了使随机误差尽可能接近仪表的准确度（精度），若多次测量结果都是一个数值，那么就可以认为测量结果的准确度与仪器的准确度（精度）相同。

多次测量结果一致，可有两种解释：一是被测量的误差极小，无法反映出来；二是测量工具精度低，掩盖了随机误差的反映。化工原理实验用到的仪表精度较低，可认为多次测量结果是同一值，故可用仪表的误差代替测量误差。仪表的误差 $\Delta x_{\text{仪}} = \text{精度} \times \text{量程}$ ，仪表的相对误差 ϵ ，称为精度。没有精度作参考时可取 $\Delta x_{\text{仪}}$ 等于最小刻度的一半，如压差计可取 0.5mm 作为测量误差 Δx 。

当被测量有较大波动，并大于仪表的误差时，用仪表误差代表测量误差就不合适了，此时可以根据波动变化情况适当选取，一般可取波动值的一半。若还有一些难以确定的情况，如手动记录时间误差等，则要通过分析适当确定。此时估计的误差 Δx 基本上考虑到最大可能性（概率为 100%），可称为最大绝对误差，它应属于算术平均误差一类。

需要进一步明确的是：化工原理实验结果的误差分析主要是指对直接测量和间接测量的随机误差分析。直接测量误差即是合理估计出 Δx 值，而间接测量误差是指在直接测量误差的基础上进行误差传递计算而得出的误差值，因此这类误差分析是定量计算的结果。

除随机误差分析外，化工原理实验误差分析也需要对系统误差和过失误差进行定性分析，即判别它们的存在和产生原因。实际上，这两类误差有时会成为影响实验结果可靠性的主要原因，因此必须加以定性分析判断。

要正确分析出系统误差是很不容易的，这里不加以详细介绍，只指出两点：① 可用公认为校准的仪表去对照，大致找出系统误差；② 根据经验分析找出系统误差，如饱和水蒸气在常压下为 100℃ 左右，若温度仪表指示只有 90℃，说明该测量结果肯定有系统误差。过失误差常是因为读错、看错、算错、方法错误等造成的，较易及时发现和纠正。

1.4.3 误差传递

对于间接测量结果的误差，应按一定规则得到。设间接测量结果为 $N \pm \Delta N$ ，则

$$N + \Delta N = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3, \dots, x_n + \Delta x_n)$$

式中 Δx_i ——直接测量量 x_i 的误差；

ΔN ——由 Δx_i 引起的误差。

将上式右端按泰勒级数展开得

$$f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n + \frac{1}{2} \sum \Delta x_i \Delta x_j \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} + \dots$$

略去高次项得