

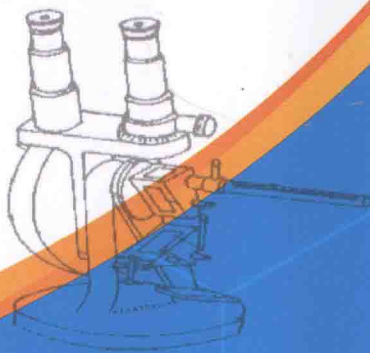
普通高等院校实验教材系列

物理化学

W 实验

ULI HUAXUE
SHIYAN

白 玮 苏长伟 陈海云 主编



科学出版社

普通高等院校实验教材系列

物理化学实验

白 玮 苏长伟 陈海云 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

为配合实验教学的改革,以适应高校扩招后的学生实际水平以及学分制、大众教育、基础教育的思想,本书在实验编写中加入了记录与数据处理、文献参考值,以及计算机结合实验中的操作步骤、实际设备的真实图片和实际使用设备的型号及相关使用说明等,方便教学。全书共七章,内容涉及绪论、热力学实验、电化学实验、动力学实验、胶体表面实验、物质结构实验和公共附录。

本书可作为普通高等院校化学、化工及相近专业的物理化学实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/白玮,苏长伟,陈海云主编. —北京:科学出版社,2016.5
(普通高等院校实验教材系列)

ISBN 978-7-03-048212-9

I. ①物… II. ①白… ②苏… ③陈… III. ①物理化学-化学实验-高等学校-教材 IV. ①O64-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第093733号

责任编辑:杨岭 郑述方/责任校对:聂海燕
责任印制:余少力/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年5月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年5月第一次印刷 印张:11

字数:230 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《物理化学实验》编委会

主 编：白 玮 苏长伟 陈海云

副主编：刘满红 田 凯 段利平 冯莉莉 夏福婷

序

物理化学是化学学科的重要分支，凡是从事化学或与化学有关专业的学者都必须具备一定的物理化学知识。由于物理化学中有较多的抽象概念和数学计算，学生在学习时一直感到有难度。而物理化学实验是基于物理化学原理而又有别于物理化学原理的独立课程，它首先要求学生了解实验所依托的物理化学原理，又要求学生掌握实验中用到的多种仪器的操作以及学会在测定一些重要物理量时数据的记录、处理和误差计算，为学生将物理化学原理应用于化工生产和科学研究打下坚实的基础，可见编写实验教材的难度之大。如果测定同一种数据采用不同的仪器，则有不同的操作方法、不同的数据记录和注意事项，所以很难套用别人的实验教材，尤其是边远山区，无论是学生的基础还是实验的设备与内地还存在一定差距。

为了配合化学实验教学改革的发展、适应高校扩招后学生的实际水平、贯彻大众教育和基础教育的思想，白玮教授、苏长伟副教授、陈海云教授等怀着对广大边远山区学生的深情厚谊，群策群力，根据他们多年积累的教学经验编写了这本实用的《物理化学实验》，这是他们智慧和心血的结晶。该书的主要特点是：

(1) 覆盖面广。精选了 21 个实验，涉及热力学、电化学、动力学、胶体表面化学以及物质结构等内容，涵盖了普通高校物理化学课程的基本内容。

(2) 陈述实验原理时概念清晰、深入浅出，弥补了理论课时偏少的不足。对实验的目的要求、实验室安全、数据处理及误差分析等都在实验前进行了详细地介绍。

(3) 介绍实验仪器时图文并茂，展示出实际设备的真实图片、型号和使用说明。拍摄实验装置的真实图片和强调使用注意事项，以减少学生实验时可能出现的差错。

(4) 对数据的记录和处理也介绍得详细周到，用图示方式给学生展示如何用计算机来操作仪器和处理数据，还提供了详细的附录和文献参考值供学生自己检验结果，这不但锻炼了学生的自学能力，也为采用该书的老师提供了方便。

我认为这是一本由实践经验丰富的教师编纂的理论水平高而又通俗、实用的《物理化学实验》，希望得到使用该书师生的支持和更多教师的采用。

沈文霞

2016 年 4 月于南京大学

前 言

物理化学实验是基础化学实验课程，为化学类中、高年级学生开设的一门专业实验课。以往教材中仪器设备与实际应用的仪器设备不匹配，给学生预习和教师授课带来诸多不便，而且学生多来自边远山区，基础较薄弱、自学能力较弱，加上理论课学时缩短等问题，使物理化学实验课程的问题愈加突出。从2010年相应的省校级开放实验室建设教学改革项目开展以来，编者就一直致力于物理化学实验教学的改革。例如，仪器设备的更新、新实验的加入、实验教学分组教学的方式改革，以及物理化学类综合实验在开放实验教学下的应用等。在普通高校以及边远山区高等教育中，在尊重学分制教育、大众教育、基础教育的前提下，结合学生基础较薄弱、自学能力较弱以及理论课学时缩短带来的实验课效果较差的实际情况，本书设计易懂、直观，使学生在较短的时间内能够掌握基本的技能。

全书共编写了21个实验，分为热力学实验、电化学实验、动力学实验、胶体表面实验和物质结构实验。本书为适应化学实验教学改革发展，适应学生扩招后的实际水平以及学分制、大众教育、基础教育的思想，在实验编写中加入了记录与数据处理、文献参考值，以及计算机结合实验中的操作步骤、实际使用设备的型号、图片及使用说明、误差分析数据处理中的细节推导等，更利于学生理解和掌握，方便教学。

全书内容包含实验教学目的及要求；误差、数据处理及表达；实验室安全与防护；21个实验及每个实验相对应的文献值、相关数据、相关玻璃仪器等检查及使用方法和实验中实际使用设备的型号及使用说明；附录。本书编写成员为云南民族大学化学与环境学院物理化学教研室老师。主编有白玮、苏长伟、陈海云，副主编有刘满红、田凯、冯莉莉、夏福婷、段利平。实验2.3, 2.4, 5.4由陈海云编写，实验2.2, 3.2, 4.2由刘满红编写，实验4.1, 5.5由段利平编写，实验2.8, 5.2, 6.1由田凯编写，实验2.1, 2.6, 4.3由冯莉莉编写，实验2.5, 5.1, 5.3由夏福婷编写，实验室安全与防护和实验3.1, 4.4由苏长伟编写，教学目的及基本要求、误差、数据处理及表达以及实验2.7, 3.3和附录由白玮编写。本书初稿由段利平、夏福婷两位老师通读，他们提出了许多修改意见，最后由主编集体审稿、修改、定稿。

本书的出版得到了云南民族大学学院特区建设项目的资助。南京大学的沈文

霞老师、云南大学的屈庆老师、云南民族大学的郭俊明老师、屈庆老师对本书提出了许多有益的建议。在此向他们表示衷心的感谢！

科学出版社郑述方编辑为本书的出版提供了热情而大量的帮助，在此表示感谢！

本书的出版是多年来从事物理化学实验教学工作的老师们共同努力的结果。由于编者的水平有限，不足之处在所难免，希望广大读者给予批评指正。

编 者

2015年10月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 教学目的及基本要求	1
第二节 误差、数据处理及表达	4
第三节 实验室安全与防护	20
第二章 热力学实验	23
实验 2.1 恒温水浴的组装及性能测试	23
实验 2.2 溶解热的测定	27
实验 2.3 纯液体饱和蒸气压的测定	34
实验 2.4 凝固点降低法测定摩尔质量	40
实验 2.5 双液系的气-液平衡相图	46
实验 2.6 二组分固-液相图及步冷曲线的绘制	53
实验 2.7 用差热分析法测定 NaNO_3 的相变热	64
实验 2.8 分光光度法测络合物的稳定常数	72
第三章 电化学实验	80
实验 3.1 原电池电动势的测定及应用	80
实验 3.2 电势-pH 曲线的测定	86
实验 3.3 乙酸溶液中 A3 钢塔菲尔极化曲线的测定	93
第四章 动力学实验	105
实验 4.1 旋光法测定蔗糖转化反应的速率常数	105
实验 4.2 电导率法测定乙酸乙酯皂化反应的速率常数	110
实验 4.3 丙酮碘化反应的速率方程测定	116
实验 4.4 BZ 振荡反应	122
第五章 胶体表面实验	126
实验 5.1 最大泡压法测定溶液的表面张力	126
实验 5.2 溶液吸附法测定固体比表面积	134
实验 5.3 黏度法测定水溶性高聚物相对分子质量	139
实验 5.4 电导法测定水溶性表面活性剂的临界胶束浓度	145
实验 5.5 电泳	151

第六章 物质结构实验	155
实验 6.1 络合物的磁化率测定	155
第七章 公共附录	162
附录一 基本附录	162
附录二 国际单位制 (SI)	164
附录三 基本常数	164

第一章 绪 论

第一节 教学目的及基本要求

一、物理化学实验的目的

物理化学实验是化学教学体系中一门独立的课程，它与物理化学课程的关系最为密切，但与后者又有明显的区别：物理化学注重理论知识的掌握，而物理化学实验则要求学生能够熟练运用物理化学原理解决实际化学问题。与其他实验课程一样，物理化学实验着重培养学生的动手能力。物理化学是整个化学学科的基本理论基础，物理化学实验是物理化学基本理论的具体化、实践化，是对整个化学理论体系的实践检验。

物理化学实验方法不仅对化学学科十分重要，而且在实际生活中也有着广泛的应用，不应仅局限于化学的范围，而应该在弄懂原理的基础上举一反三，把所学的实验方法应用于实际，这样才能真正有所收获。例如，对电动现象中的电泳实验和电渗实验，不应局限于此，而应该立体式地理解和应用这个实验。又如，重金属离子在电场作用下可以以电迁移方式运输，因此可以用它来控制低渗透的黏性淤泥中污染物的流动方向。动电修复就是一种新的土壤原位修复技术，但是需要通过实验对理论融会贯通，才能进一步提升土壤修复的技术方法和效率，这有很大的空间。再如，通过恒温水浴的组装及性能测试实验，对温度计以及接触温度计有了更深的认识，它的应用很广，大量运用在电子控温电器上，并因此又延伸出很多新的创新产品和创新科技，如对压力的测量。在生活中，对血压的监测很重要，特别是对高血压患者更是必不可少的。现有的压力计并不能满足人们的需求，它还有很大的改进空间，在通过实验弄懂原理的基础上，多角度提升测量的技巧和方法，使其更方便、便携、准确。

物理化学实验的目的是初步了解物理化学的研究方法，掌握物理化学的基本实验技术和技能，学习化学实验研究的基本方法，为将来从事化学理论研究和与化学相关的实践活动打下良好的基础。

二、物理化学实验的基本要求

从上可知，对实验研究方法和技能的掌握是在物理化学实验中的重要收获，对于每个物理化学性质往往都有几种不同的方法加以测定，方法的好坏对实验结

果有着直接的影响，如测定液体的饱和蒸气压有静态法、动态法、气体饱和法等多种方法。要学会对不同方法加以分析比较，找出各自优缺点，从而在实际应用中更得心应手。不要对书本上的内容过于依赖，应该抱着怀疑的态度，多开动脑筋，在实验过程中发现问题，解决问题。为了做好实验，要求具体做到以下几点。

1. 实验前的预习

实验前预习是顺利完成实验的基本保证，物理化学实验牵涉到比以往更多的以物理原理为基础的仪器设备，实验原理和操作较为复杂。学生在实验前应认真仔细阅读实验内容，预先了解实验的目的、原理，了解所用仪器的构造和使用方法，了解实验操作过程。然后参考物理化学教材及有关资料，对实验方法有一个全面的了解，思考是否还有修改完善的地方。在预习的基础上写出实验预习报告。预习报告要求写出实验目的、实验所用仪器试剂、实验步骤及实验时所要记录的数据表格。预习报告应写在一个专门的记录本上，以保存完整的实验数据记录，不得使用零散纸张记录。

预习的具体内容如下：

(1) 要求了解实验目的、实验方法、所用仪器设备及使用说明等，避免实验时的盲目性。

(2) 要求掌握实验基本原理、实验操作要领及实验数据处理方法等。

(3) 要求在预习本中预先画出规范的数据记录格式，包括实验项目、测试内容、测量次数等。

(4) 要求对预习时所遇到的难点、疑点和设想等提出讨论，培养学习的主动性和积极性。

2. 实验操作

实验要经指导教师同意方可接通仪器电源进行实验。对于实验操作步骤，通过预习应心中有数，严禁“抓中药”式的操作，看一下书，动一动手。在实验操作过程中，应严格按照实验操作规程进行，并且应随时注意实验现象，尤其是一些反常的现象，不应放过。不应简单认为是自己操作失误就放弃了。应仔细查明原因，或请教指导教师帮助分析处理。实验结果必须经教师检查，数据不合格的应及时返工重做，直至获得满意结果，实验数据应随时记录在预习报告上，记录实验数据必须完整、准确，不得随意更改实验数据，或只记录“好”的数据，舍弃“不好”的数据。实验数据应记录在预习报告已画好的数据表格中，字迹要清楚、整齐。要养成良好的记录习惯。实验完毕后，经指导教师同意后，整理实验台，方可离开实验室。

3. 实验报告

应独立完成实验报告，实验后及时送指导教师批阅，不能拖延。写实验报告是物理化学实验的基本训练，处理数据及数据的表达等需花费比实验更长的时间，

学生应耐下心来, 这个过程使学生在实验数据处理、作图、误差分析、逻辑思维等方面都得到训练和提高, 为今后写科学论文打下良好基础。

物理化学实验报告一般应包括: 实验目的, 实验原理, 仪器与试剂, 实验操作步骤, 记录与数据处理, 结果和讨论等项。其中, 实验目的应简单明了, 说明实验方法及研究对象。注意, 实验原理应在弄懂的基础上, 用自己的语言表述出来, 而不要简单抄书。仪器装置用简图表示, 并注明各部分名称; 数据处理应用原始数据记录表和计算结果表表示(有时可合二为一), 需要计算的数据必须列出算式, 对于多组数据, 可列出其中一组数据的算式。并注明公式所用的已知常数的数值, 一定要注意各数值所用的单位。作图必须使用坐标纸, 图要端正地粘贴在报告上。有条件的话, 使用计算机来处理实验数据。实验报告的数据处理中不仅包括表格、作图和计算, 还应有必要的文字叙述。例如“所得数据列入 $\times\times$ 表”, “由表中数据作 $\times\times-\times\times$ 图”等, 以便使写出的报告更加清晰、明了, 逻辑性强, 便于批阅和留作以后参考。除此之外, 对实验结果误差的定性分析或定量计算也不能忽略; 讨论的内容可包括对实验现象的分析和解释, 以及关于实验原理、操作、仪器设计和实验误差等问题的讨论, 对实验的改进意见和做实验的心得体会等, 这是锻炼学生分析问题的重要环节, 应予以重视。

4. 实验室规则

(1) 遵守纪律, 不迟到, 不早退, 保持室内安静, 不大声谈笑, 不到处乱走, 不许在实验室内嬉闹及恶作剧。

(2) 实验时应遵守操作规则, 遵守一切安全措施, 保证实验安全进行。

(3) 使用水、电、气、药品试剂等都应本着节约原则。

(4) 未经教师允许不得乱动精密仪器, 使用时要爱护仪器, 如发现仪器损坏, 立即报告指导教师并追查原因, 操作者的过错应由整个实验小组负担。

(5) 随时注意室内整洁卫生, 火柴杆、纸张等废物必须丢入废物缸内, 不能随地乱丢, 更不能丢入水槽, 以免堵塞。实验完毕将玻璃仪器洗净, 把实验桌打扫干净, 公用仪器、试剂药品等整理整齐。

(6) 实验时要集中注意力, 认真操作, 仔细观察, 积极思考, 实验数据要及时、如实、详细地记在预习报告本上, 不得涂改和伪造, 如有记错可在原数据上划一杠, 再在旁边记下正确值。

(7) 实验结束后, 由同学轮流值日, 负责打扫整理实验室, 检查水、气、门窗是否关好, 电闸是否拉掉, 以保证实验室的安全。

实验室规则是人们长期从事化学实验工作的总结, 它是保持良好环境和工作秩序, 防止意外事故, 做好实验的重要前提, 也是培养学生优良素质的重要措施。

5. 实验考核要求

化学类专业要求学生完成实验 20 个, 其他专业 8~12 个, 写出实验报告, 并

对实验进行讨论。考核方式一般可采用实验前的预习、实验操作、实验报告和讲座相结合，进行综合考核。

第二节 误差、数据处理及表达

树立正确的误差概念是对一个实验人员的基本要求。在实验过程中，不仅要

对实验方案进行分析，选择适当的测量方法进行数据的直接测量，而且同等重要的是对测量数据进行归纳、处理，以期找到其中正确的表达，寻求被研究对象内在的本质和规律。

一、误差及误差的表达

由于实验方法的非完美性、仪器精度的局限性和实验人员主观及外界条件的影响等各方面条件的限制，一切测量均存在误差，即测量值与真值（或实验平均值）之差。研究误差的目的，不是要消除它，因为这是不可能的；也不是使它最小，这不一定必要，因为这要花费大量的人力和物力。它的目的是在一定的条件下得到更接近于真实值的最佳测量结果；确定结果的不确定程度；据预先所需结果，选择合理的实验仪器、实验条件和方法，以降低成本和缩短实验时间。因此除了认真仔细地做实验外，还要有正确表达实验结果的能力，二者是同等重要的。仅报告结果，而不同时指出结果的不确定程度的实验是无价值的，所以树立正确的误差概念，必须对误差产生的原因及规律进行研究，方可在合理的人力物力支出条件下，获得可靠的实验结果，再通过实验数据的处理等步骤，就可使实验结果变为有参考价值的资料，这在科学研究中是必不可少的。

（一）不同原因产生的三种误差

1. 系统误差

这种误差是由一定原因引起的，它使测量结果恒偏大或恒偏小，其数值或是基本不变，或是按一定规律而变化，但总可以设法加以确定。因而在多数情况下，它们对测量结果的影响可以用改正量来校正。

产生的原因有以下几点。

（1）仪器结构上的缺点引起的。例如，天平的两臂不等，气压计的真空不十分完善，仪器示数部分的可读划分不够准确等。这类误差可以通过检定的方法来改正。

（2）方法误差：实验方法的缺陷引起的。例如，实验方法的理论本身有缺点，或使用了近似公式。

(3) 试剂误差：试剂药品不良引起的。例如，试剂中杂质的存在有时会给结果带来极其严重的影响。

(4) 个人误差：操作者个人的习惯和特点引起的。例如，观察视线偏高或偏低，判定滴定终点的颜色程度因人而异。

找出系统误差并尽可能改正，这是实验中的重要任务之一。改变实验条件可以发现系统误差的存在，针对产生原因可采取措施将其消除。例如：相对原子质量是用好几种方法来决定的。只有不同实验人员，用不同仪器、不同方法所得数据相符合，系统误差才可以认为基本消除。

2. 偶然误差（或随机误差）

相同条件下，多次测量同一量时，仍会发现测量值间存在微小差异，误差绝对值的平均值随测量次数的增加趋近于零，此类误差称为偶然误差。它产生的原因并不确定，一般是由环境条件的改变（如大气压、温度的波动）、操作者感官分辨能力的差异所致。例如，估计仪器最小分度时偏大或偏小，难以读准确；控制滴定终点的指示剂颜色时有深有浅等都难以避免，这是同一个量多次测定的结果不能吻合的原因。

3. 过失误差（或粗差）

实验人员在测量过程中读数读错，记录记错，计算出现错误等引起误差。这是一种明显歪曲实验结果的误差。它无规律可循，是由操作者的主观错误所致，此类误差可以避免。发现有此种误差产生时，应及时纠正或将所得数据剔除。

（二）误差的表达方法

一般误差的表达方法有三种，平均误差、标准误差和或然误差，常用前面两种。为了表达测量的精度，又有绝对误差、相对误差两种表达方法。

1. 一般误差的表达方法

（1）平均误差。

$$\delta = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{|d_i|}{n}$$

其中， d_i 为测量值 x_i 与算术平均值之差，以下同； n 为测量次数； $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ ， $i=1, 2, \dots, n$ 。平均误差计算方便，但易掩盖精度不高的测量值。

（2）标准误差（或称均方根误差）。

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

这种表达方法对测量值误差的大小反应灵敏，顾及误差的对消，实验精确测

量中显示更多实用性。但计算烦琐，常借助于计算机，有时需统计编程来完成。

$$\delta = 0.798\sigma$$

(3) 或然误差。

$$P = 0.675\sigma$$

2. 精度

精度反应测量结果与真值（多次测量的算术平均值也可）的接近程度，有准确度和精密度之分。

$$\Delta Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x - x_{\text{真}}|$$

1) 准确度

准确度反映因系统误差引起的测量值对真值的偏离程度。准确度的高低用误差大小来表示，绝对误差表示了测量值与真值的接近程度，即测量的准确度。系统误差越小，测量结果的准确度越高。

2) 精密度

相对误差表示绝对误差与真实值的比值，表示测量值的精密度，即各次测量值相互靠近的程度。反映相同条件下，同一试样的重复测量值之间的符合程度，即多次测量的结果彼此接近的程度，属于偶然误差的影响。有效数字的位数直接体现了精密度的大小。用平均误差或标准误差，以及平均相对误差或标准相对误差均可表达精密度。

$$\text{平均相对误差} (\delta_{\text{相对}}) = \pm \frac{\delta}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$\text{标准相对误差} (\sigma_{\text{相对}}) = \pm \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

用绝对误差表示方法为

$$\bar{x} \pm \delta \text{ 或 } \bar{x} \pm \sigma$$

用相对误差表示方法为

$$\bar{x} \pm \delta_{\text{相对}} \text{ 或 } \bar{x} \pm \sigma_{\text{相对}}$$

例如：水银温度计，一支的最小分度是 1°C ，另一支是 0.2°C ，多次测量的平均结果分别是 $(30.2 \pm 0.2)^{\circ}\text{C}$ 和 $(30.18 \pm 0.02)^{\circ}\text{C}$ 。后一支测量结果包含四位有效数字，它的读数的精密度较高。精密度包括了测量值的可复性和测量结果表示出的有效数字位数两个因素。但可复性高并不代表准确性高，即不能确认是否有系统误差存在。例如：未经校正的温度计，虽然精密度高，也可能是不准确的。因此，高的精密度不能保证高的准确度，但高的准确度必须有高的精密度来保证。

用标准误差表示精密度比用平均误差好。用平均误差评定测量精密度优点是

计算简单,缺点是可能把质量不高的测量值给掩盖了;而用标准误差时,测量误差平方后,较大的误差更显著地反映出来,更能说明数据的分散程度。因此在精密地计算测量误差时,大多采用标准误差。

二、误差计算与分析

(一) 偶然误差的统计规律和可疑值的舍弃

偶然误差符合正态分布规律,即正、负误差具有对称性。所以,只要测量次数足够多,在消除了系统误差和粗差的前提下,测量值的算术平均值趋近于真值

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \bar{x} = x_{\text{真}}$$

但是,一般测量次数不可能有无限多次,所以一般测量值的算术平均值也不等于真值。于是人们又常把测量值与算术平均值之差称为偏差,常与误差混用。

如果以误差出现次数 n 对标准误差的数值 σ 作图,得一对称曲线(图 1.2.1)。统计结果表明测量结果的偏差大于 3σ 的概率不大于 0.3%。因此根据小概率定理,凡误差大于 3σ 的点,均可以作为粗差剔除。严格地说,这是指测量 100 次以上时方可如此处理,粗略地用于 15 次以上的测量;对于 10~15 次时可用 2σ ;若测量次数再少,应酌情递减。

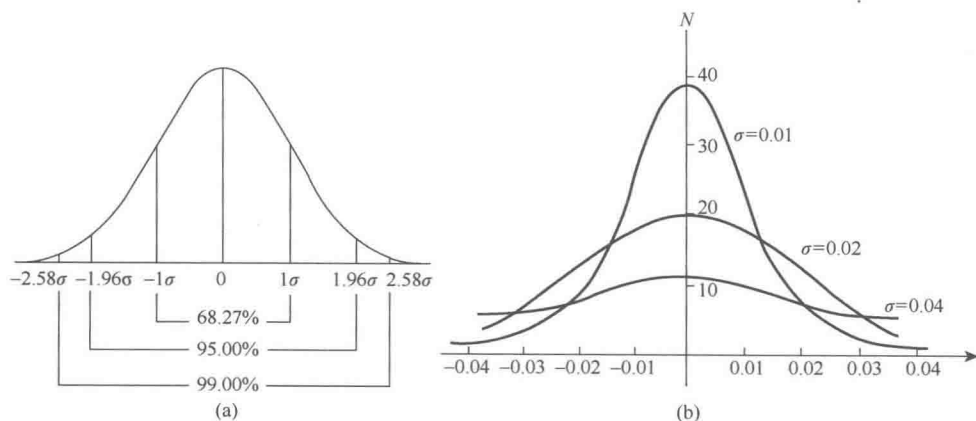


图 1.2.1 正态分布误差曲线图

(二) 误差传递——间接测量结果的误差计算

测量分为直接测量和间接测量两种,一切简单易得的量均可直接测量出,如

用米尺量物体的长度，用温度计测量体系的温度等。对于较复杂不易直接测得的量，可通过直接测定简单量，而后按照一定的函数关系将它们计算出来。

例如，在凝固点降低法测相对分子质量实验中，溶质相对分子质量 M 为

$$M = \frac{K_f \cdot W_B \cdot 1000}{W_A \Delta T_f}$$

式中， M 为间接测量量。每个直接测量量（如 W_A ， W_B ， T_f ）的误差都会影响最终测量结果（ M ），这种影响称为误差的传递。从测量结果的表达式 $\bar{x} \pm \delta$ 或 $\bar{x} \pm \sigma$ 看，关键是要了解直接测量量的平均误差（ δ ）或标准误差（ σ ）是如何传递的。这里仅介绍平均误差（ δ ）或标准误差（ σ ）是如何传递给间接测量量的。

下面给出了误差传递的定量公式。通过间接测量结果误差的求算，可以知道哪个直接测量值的误差对间接测量结果影响最大，从而可以有针对性地提高测量仪器的精度，获得好的结果。

1. 间接测量结果误差的计算

设函数关系为 $u=f(x, y)$ ，其全微分式为

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_x dy$$

其中， x 和 y 为直接测量的物理量； dx 和 dy 为其平均误差； u 为理论计算结果。当 Δx 与 Δy 很小时，舍去 Δx 式中的高阶无穷小， $\Delta x \approx dx$ ， $\Delta y \approx dy$ ，考虑误差积累，取其绝对值，则

$$\Delta u = \left| \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_y \right| |\Delta x| + \left| \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_x \right| |\Delta y|$$

称为函数 u 的绝对算术平均误差。其相对算术平均误差为

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{1}{u} \left| \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_y \right| \cdot |\Delta x| + \frac{1}{u} \left| \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_x \right| \cdot |\Delta y|$$

例如： $y = x_1 + x_2$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)_{x_2} = 1, \quad \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)_{x_1} = 1, \quad \Delta y = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$$

又如： $y = \frac{x_1}{x_2}$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)_{x_2} = \frac{1}{x_2}, \quad \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)_{x_1} = x_1 \cdot \frac{-1}{x_2^2},$$

$$\Delta y = \frac{1}{x_2} \cdot |\Delta x_1| + \left| \frac{-x_1}{x_2^2} \right| |\Delta x_2| = \frac{1}{x_2} \cdot |\Delta x_1| + \frac{x_1}{x_2^2} |\Delta x_2| = \frac{x_2 \cdot |\Delta x_1| + x_1 \cdot |\Delta x_2|}{x_2^2}$$