

高等学校教材

# Physical Chemistry Experiments

# 物理化学实验 (第四版)

四川大学化工学院

罗澄源 向明礼 等编



高等教育出版社

高等学校教材

# 物理化学实验

(第四版)

四川大学化工学院  
罗澄源 向明礼 等编

高等教育出版社

## 内容简介

本书系在1991年第三版的基础上修订而成。内容包括:误差及数据处理,热力学、电化学、动力学、分散系统性质、物性测定等实验,以及有关实验仪器介绍等。全书共有教学实验34个,每个实验都附有:思考问题,参考资料,教学讨论,选作课题和实际应用等栏目。部分实验还在不同层次上对计算机处理数据、采集数据及过程控制作了介绍。

本书可供高等院校化工类专业教学使用,也可作设有物理化学实验课的相关专业的参考书,对从事科研工作的人员也有一定的参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/罗澄源,向明礼等编. 4版. 北京:高等教育出版社,2004.11  
ISBN 7-04-015583-4

I. 物... II. ①罗... ②向... III. 物理化学-化学实验-高等学校-教材 IV. O64-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第103167号

策划编辑 岳延陆 责任编辑 应丽贞 封面设计 刘晓翔 责任绘图 尹文军  
版式设计 王莹 责任校对 朱惠芳 责任印制 杨明

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总机 010-58581000

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京未来科学技术研究所  
有限责任公司印刷厂

开 本 787×960 1/16  
印 张 18  
字 数 330 000

版 次 1979年12月第1版  
2004年11月第4版  
印 次 2004年11月第1次印刷  
定 价 19.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:15583-00

## 郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010) 58581897/58581896/58581879

**传 真：**(010) 82086060

**E - mail:** dd@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

**邮 编：**100011

**购书请拨打电话：**(010)64014089 64054601 64054588

## 第四版前言

本书自1979年初版至今已整整24年了。历年来,不少学校持续采用本书作为教材热情不减。特别是经过两次修订的第三版,尤为读者所青睐,于1995年经全国工科物理化学教材编审小组推荐,曾获得原国家教委颁发的“高等学校优秀教材二等奖”。今年,高等教育出版社鉴于本书第三版已历时12年,而每年用量又较大,建议再次修订出版。我们也认为,教材修订也应该与时俱进,力求与教学改革步伐和科学技术发展的需要相适应。因此对本书再作一次修订是很有必要的。

修订版的多数实验项目是从近年我国工科院校开出频率较高的实验中精选而来。本书第三版共38个实验,这次修订删去6个,新增了“胶束催化”和“液膜分离”2个实验。物性测定的重要性对工科学生来说是十分明显的,故将原书7个物性测定实验全部保留。一些看似简单的经典物理化学实验,由于它们在培养学生基本实验技能方面的重要作用,这次修订也保留了下来。

在修订版中,我们再次强调了计算机在实验中的应用。

首先,在书中的“误差及数据处理”部分增加了计算机作图和实验数据非线性拟合的内容,鼓励学生用计算机处理数据。一般来说,对数据处理较简单的实验,不少学生有能力用计算机作图和处理数据,所以我们不再详细说明方法。但对较复杂的,如“乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定”实验中的用作图法外推初始电导 $G_0$ 、“沉降分析”和“表面张力的测定”实验中的图解微分,要求用计算机处理数据代替既繁琐费时、又误差很大的手工作图时,我们都在书中对数学模型的建立和计算方法的选择进行了引导。

计算机在实验中应用的第二层次,是用计算机采集和处理实验数据。我们在“燃烧热的测定”、“溶解热的测定”、“表面张力的测定”、“乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定”等实验中都已应用了这种技术。但由于所涉及的技术较为复杂,实践中只适宜选用少数实验进行示范教学,不宜过多采用。

实验中应用计算机的第三个层次,是实现实验过程的计算机控制。修订版在“离子交换动力学”实验中,根据pH传感器发送的信号,由计算机控制电磁阀来调节液体流量,实现了定时、定量的间歇滴定过程。这类实验也适于用作示范教学,其作用在于加深学生对计算机功能的感受和了解。

本书限于篇幅,有关计算机在物理化学实验中的应用方面的资料,未予详载。读者如有需要,可与四川大学化工学院国家工科基础课程化学教学基地向

明礼老师(tmkxiang@163.com)联系。

本书第四版实验中的所有栏目和撰写风格,与第三版相同。但对不少内容进行了修订和补充。书中的物理量、单位和符号的表示,表格的排列和文献的引用,也都按国家有关标准作了修改。书中的“思考题”、“教学讨论”、“选作课题”、“实际应用”及“参考资料”等栏目,也作了不少删补和更新。虽然在书中它们都是用小字刊出的,但它们都是深入理解每个实验的重要辅助材料,希望读者不要把它们当成题外话而将其忽略。

原书附录中的部分内容,这次也做了必要的调整、删除、补充和更新。常用数据表也重新作了审核,进行了必要的修正。

本书经天津大学王正烈教授审稿,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

下列同志参加了本书修订和实验工作:罗澄源、甘斯祚、向明礼、翟淑华、谈宁馨。硕士研究生李瑞、魏来两位同学参与了本书文字录入的大部分工作。

限于编者的水平,书中谬误在所难免,真诚地希望读者们批评指正。

编 者

2003年12月于四川大学化工学院

## 第三版修订说明

1. 本书第二版共有 44 个教学实验。这次修订共删去 9 个、新增 3 个、彻底改写 7 个,其余实验和附录都作了不同程度的修改和补充。修订后的第三版共有教学实验 38 个,附录 16 个,附表 19 个。

2. 实验说明书的内容重新作了调整和补充。删去了原每个实验的记录表格,必要的表格只在数据处理栏中作为示例列出。每个实验都增加了教学讨论、选作课题和实际应用三个栏目,内容涉及有关教学法的建议,实验意义和有关原理的进一步阐述,利用本实验的仪器和方法可进一步完成的选作课题,以及为开阔学生视野而列举的有关实验技术的应用等。

3. 近年来计算机在实验研究工作中已获得广泛应用。本书列举了两个实例,对计算程序进行了描述和说明,以便于在教学中采用。然而,最好的方法是让学生对个别实验自己编写计算程序,以使其所学的计算机知识得以巩固和应用。

4. 参加本书修订和实验工作的有罗澄源、甘斯祚、杨貽祥、吴锡祥、向惟汉、刘华、卫永祉、吴则贤等同志。朱立勋同志在制作教学仪器方面作了不少工作。

5. 本书由浙江大学物理化学教研室的同志负责审稿。他们对本书提出了许多宝贵意见,我们表示衷心感谢。

编 者

1989 年 10 月于成都科技大学

## 第二版前言

本书自1979年出版以来,不少实验的教学内容和测试技术都有了很大的改进和提高,一些新实验在教学实践中也不断设计了出来。因此对本书作一次修订是很有必要的。

本书仍由四部分组成。误差和数据处理部分着重介绍物理化学实验中常用的误差分析和作图方法。这些最基本的内容经常容易被忽视或训练不足,故把它列在第一部分,并强调在实验中加以应用。实验部分是本书的主要内容,也是这次修订的重点。第一版书中共四十五个教学实验,这次修订共删去了六个,增加了五个,彻底改写十二个,其余实验也作了部分修改和更正。鉴于物理化学演示实验还不十分成熟,教学中采用也不普遍,因此将其全部删去。而物性测定的重要性对工科学生来说则是十分明显的,故将七个较重要的物性测定实验单独列成一章。虽然书中半数以上都是经典的物理化学实验题目,但在实验技术和教学内容上都作了不同程度的改革。这次修订还特别注意结合工科专业特点,强调物理化学实验技术的实际应用。同时也考虑到目前我国的实际情况,所选实验需用的仪器设备都是一般实验室容易获得的。尽管我们做了这些努力,由于各校实验设备不一样,在采用本书作为教材时,实验项目可根据本校的实际情况进行选择,或对实验条件作相应的改变。

实验说明书的编写一般都比较详细,包括目的要求、简要原理、仪器试剂、实验步骤、记录表格、数据处理、思考问题和参考资料等。以便学生通过预习之后,即能独立进行实验,并按要求作好记录和写出实验报告。附录部分着重介绍有关基本实验技术和一些较特殊仪器的原理、结构和使用方法。书末附有一部分实验中需用的数据表,介绍了国际单位制及有关单位的换算。

本书出版四年多来,各兄弟院校在使用本书的过程中给我们提出了不少宝贵意见,对本书的修订再版给了很大的支持和鼓励。浙江大学物理化学教研组的同志对本书修订稿作了全面细致的审核,提出了许多建设性意见,在此我们表示衷心感谢。

参加本书修订和实验工作的有罗澄源、张信鉴、甘斯祚、吴锡祥、杨贻祥、向惟汉、卫永祉、刘华、朱立勋、侯含秀、吴则贤等同志。



---

由于我们水平有限,书中存在的缺点和错误在所难免,我们真诚希望读者们批评指正。

编 者

1983 年 9 月于成都科技大学

# 第一版前言

本书是根据1977年11月在杭州召开的高等工科院校化学教材编写会议拟订的《物理化学实验》教材编写大纲编写的。在实验的试作和教材的编写过程中,各兄弟院校给我们提供了不少宝贵资料,进一步丰富了原大纲的内容,使教材更切合我国目前实际情况。编写出初稿后,于1978年10月在成都召开了审稿会议,由浙江大学主审,参加审稿的还有天津大学、大连工学院、华南工学院、上海化工学院等十多个兄弟院校。与会代表对全书内容进行了审查,并在我校实验室对部分实验进行了试作。代表们对初稿提出了许多宝贵意见。对此我们表示衷心感谢。

本书共分四个部分。误差及数据处理,着重介绍物理化学实验中常用的误差分析和作图方法。这些最基本的内容经常容易被忽视或训练不足,故把它列在第一部分,并强调在实验中加以应用。实验部分是本书的主要内容,共选了四十五个教学实验和九个演示实验,其中一部分是较新的内容,但半数以上是经典的物理化学实验。考虑到目前我国的实际情况,所选实验需用的仪器设备都是一般实验室容易获得的。演示实验的目的在于通过实验现象的观察来增强感性认识,帮助学生某些概念的理解。这类实验可配合讲课或作预习题课在小班进行。实验说明书的编写一般都比较详细,包括目的要求,简要原理,仪器试剂,实验步骤,记录表格,数据处理,思考问题和参考资料等。以便学生通过预习之后,即能独立进行实验,并按要求作好记录和写出实验报告。附录部分着重介绍有关基本实验技术和一些较特殊仪器的原理、结构和使用方法。书末列出了一部分实验中需用的数据表,介绍了国际单位制及有关单位的换算。

参加本书编写和实验工作的教师有罗澄源、刘其则、甘斯祚、张信鉴、管金鹰、吴锡祥、杨貽祥、沈守瑶、羿守恒、肖顺清、陈淑芳、贾文彧、向惟汉等。朱立勋同志在制作教学仪器和设备方面作了不少工作。

由于我们水平有限,书中存在的缺点和错误在所难免,我们真诚地希望读者批评指正。

编 者

1978年12月于成都科学技术大学

# 目 录

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 一、误差及数据处理 .....                    | 1   |
| I 基本概念 .....                       | 1   |
| II 误差分析 .....                      | 6   |
| III 实验数据处理 .....                   | 10  |
| IV 计算机作图与待定参数的非线性拟合 .....          | 17  |
| 二、实验部分 .....                       | 29  |
| I 热力学 .....                        | 29  |
| 实验一 摩尔质量的测定 (Victor Meyer 法) ..... | 29  |
| 实验二 燃烧热的测定 .....                   | 33  |
| 附:燃烧热的联机检测 .....                   | 40  |
| 实验三 溶解热的测定 .....                   | 43  |
| 附:溶解热的联机检测 .....                   | 49  |
| 实验四 氨基甲酸铵的分解平衡 .....               | 52  |
| 附:化学纯氨基甲酸铵的制备 .....                | 55  |
| 实验五 液体的饱和蒸气压 .....                 | 56  |
| 实验六 凝固点降低法测定摩尔质量 .....             | 59  |
| 实验七 二元液系相图 .....                   | 63  |
| 实验八 三组分液-液系统相图 .....               | 66  |
| 实验九 二组分合金相图 .....                  | 71  |
| 实验十 差热分析和热重分析 .....                | 75  |
| 实验十一 色谱法测无限稀活度系数 .....             | 81  |
| II 电化学 .....                       | 86  |
| 实验十二 电解质溶液的电导 .....                | 86  |
| 实验十三 电动势的测定及应用 .....               | 90  |
| 实验十四 氟离子选择电极测氢氟酸解离常数 .....         | 95  |
| 实验十五 阴极极化曲线的测定 .....               | 99  |
| 实验十六 阳极极化曲线的测定 .....               | 103 |
| III 动力学 .....                      | 107 |
| 实验十七 蔗糖水解 .....                    | 107 |
| 实验十八 过氧化氢的催化分解 .....               | 111 |
| 实验十九 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定 .....         | 115 |
| 附 1:计算机处理数据外推 $G_0$ 的数学模型 .....    | 120 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 附 2:乙酸乙酯皂化反应速率常数联机测定方法 .....      | 121 |
| 实验二十  甲酸氧化动力学 .....               | 123 |
| 实验二十一  “碘钟”反应 .....               | 128 |
| 实验二十二  丙酮溴化反应 .....               | 131 |
| 实验二十三  离子交换动力学 .....              | 136 |
| 附:离子交换动力学的微机控制与测量 .....           | 140 |
| 实验二十四  催化剂的制备及其活性和选择性的测定 .....    | 144 |
| IV 分散系统的性质 .....                  | 149 |
| 实验二十五  沉降分析 .....                 | 149 |
| 附:沉降曲线拟合的模型与方法 .....              | 155 |
| 实验二十六  胶束催化苯胺碘化反应 .....           | 156 |
| 实验二十七  液膜分离废水中的醋酸 .....           | 160 |
| V 物性测定 .....                      | 165 |
| 实验二十八  液体黏度和密度的测定 .....           | 165 |
| 附:落球黏度计、旋转黏度计及比重天平使用法 .....       | 169 |
| 实验二十九  表面张力的测定 .....              | 172 |
| 附 1:表面张力-浓度关系拟合的高斯-牛顿法和麦夸托法 ..... | 176 |
| 附 2:圈环法、滴重法、毛细管法测表面张力介绍 .....     | 178 |
| 附 3:表面张力的联机测定方法 .....             | 182 |
| 实验三十  液体比热容的测定 .....              | 184 |
| 实验三十一  液体导热系数的测定 .....            | 188 |
| 实验三十二  扩散系数的测定 .....              | 192 |
| 实验三十三  固体比表面的测定——BET 容量法 .....    | 196 |
| 实验三十四  固体比表面的测定——色谱法 .....        | 201 |
| 三、附录 .....                        | 206 |
| 附录一  温度的测量与控制 .....               | 206 |
| 温度计 .....                         | 206 |
| 1. 汞温度计 .....                     | 206 |
| 2. 贝克曼温度计 .....                   | 209 |
| 3. 热电偶 .....                      | 210 |
| 4. 电阻温度计 .....                    | 213 |
| 5. 氧蒸气压温度计 .....                  | 216 |
| 温度控制 .....                        | 218 |
| 1. 恒温槽 .....                      | 218 |
| 2. 电炉温度控制 .....                   | 221 |
| 附录二  气压计和负压传感器 .....              | 222 |
| 气压计 .....                         | 222 |
| 1. 气压计的构造和使用 .....                | 222 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 2. 气压计的读数校正 .....      | 223 |
| 负压传感器 .....            | 224 |
| 附录三 真空技术 .....         | 225 |
| 真空的产生 .....            | 226 |
| 真空的测量 .....            | 227 |
| 1. 麦氏真空规 .....         | 227 |
| 2. 热偶规 .....           | 229 |
| 3. 电离真空规 .....         | 229 |
| 真空系统的操作 .....          | 230 |
| 1. 真空泵的使用 .....        | 230 |
| 2. 冷阱 .....            | 230 |
| 3. 管道与真空旋塞 .....       | 231 |
| 4. 真空涂敷材料 .....        | 231 |
| 5. 检漏 .....            | 231 |
| 附录四 交流电桥及电导(率)仪 .....  | 232 |
| 交流电桥和电导池 .....         | 232 |
| 1. 交流电桥的平衡条件 .....     | 232 |
| 2. 交流电源和指零仪器 .....     | 233 |
| 3. 电导池 .....           | 234 |
| 4. 电极镀铂黑的方法 .....      | 235 |
| 电导(率)仪 .....           | 235 |
| 附录五 电位差计和数字电压表 .....   | 236 |
| UJ-25 型电位差计 .....      | 236 |
| 标准电池与检流计 .....         | 237 |
| 1. 标准电池 .....          | 237 |
| 2. 检流计 .....           | 237 |
| 电子电位差计 .....           | 238 |
| 数字电压表 .....            | 239 |
| 附录六 pH(酸度)计 .....      | 239 |
| 附录七 常用参比电极及盐桥的制备 ..... | 243 |
| 甘汞电极 .....             | 243 |
| 1. 研磨法 .....           | 243 |
| 2. 电解法 .....           | 243 |
| 氯化银电极 .....            | 244 |
| 盐桥的制备 .....            | 244 |
| 附录八 旋光仪 .....          | 245 |
| 附录九 阿贝折射仪 .....        | 248 |
| 附录十 分光光度计 .....        | 250 |

|               |                                            |     |
|---------------|--------------------------------------------|-----|
| 附录十一          | 固体物质真密度及假密度的测定 .....                       | 252 |
|               | 真密度的测定 .....                               | 253 |
|               | 假密度的测定 .....                               | 254 |
| 附录十二          | 汞和水的纯化 .....                               | 254 |
|               | 汞的纯化 .....                                 | 254 |
|               | 水的纯化 .....                                 | 255 |
|               | 1. 树脂的预处理 .....                            | 255 |
|               | 2. 交换 .....                                | 256 |
|               | 3. 交换柱的再生 .....                            | 256 |
|               | 4. 水质检验 .....                              | 256 |
| 附录十三          | 气体钢瓶和减压阀 .....                             | 256 |
|               | 1. 气体钢瓶的颜色标记 .....                         | 256 |
|               | 2. 气体钢瓶的安全使用 .....                         | 256 |
|               | 3. 气体减压阀 .....                             | 257 |
| 四、常用数据表 ..... |                                            | 258 |
| 表 1           | 2001 年国际相对原子质量表 .....                      | 258 |
| 表 2           | 国际单位制的基本单位 .....                           | 259 |
| 表 3           | 国际单位制中具有专门名称的导出单位 .....                    | 259 |
| 表 4           | 力单位换算 .....                                | 260 |
| 表 5           | 压力单位换算 .....                               | 260 |
| 表 6           | 能量单位换算 .....                               | 260 |
| 表 7           | 用于构成十进倍数和分数单位的词头 .....                     | 261 |
| 表 8           | 常用物理常数 .....                               | 261 |
| 表 9           | 水的表面张力 .....                               | 262 |
| 表 10          | 水的饱和蒸气压 .....                              | 262 |
| 表 11          | 水的绝对黏度 .....                               | 263 |
| 表 12          | 水的折射率(钠光) .....                            | 263 |
| 表 13          | 不同温度下液体的密度 .....                           | 263 |
| 表 14          | 一些液体的蒸气压 .....                             | 264 |
| 表 15          | 标准电极电势(25℃) .....                          | 264 |
| 表 16          | 强电解质活度系数(25℃) .....                        | 265 |
| 表 17          | 无限稀释离子摩尔电导 .....                           | 266 |
| 表 18          | K 型(镍铬-镍铝)热电偶的电动势-温度关系<br>(冷端温度为 0℃) ..... | 266 |
| 五、索引 .....    |                                            | 269 |

# 一、误差及数据处理

## I 基本概念

在实验研究工作中,一方面要对实验方案进行分析研究,选择适当的测量方法进行数据的直接测量;另一方面还必须将所得数据加以整理归纳,以寻求被研究的变量间的规律。但不论是测量工作或数据处理,树立正确的误差概念是很有必要的。应该说,一个实验工作者具有正确表达实验结果的能力和他能作精细的实验工作的本领,同等重要。下面简要介绍有关基本概念。

**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。

系统误差主要由下列原因所引起:

(1) 仪器误差:是由于仪器结构上的缺点所引起,如天平的两臂不等,气压计的真空不十分完善,温度计未经校正,仪器示数部分的刻度划分得不够准确等。这类误差可以通过检定的方法来校正。

(2) 试剂误差:在化学实验中,试剂中杂质的存在有时会给结果带来极其严重的影响,因此试剂的提纯是一件十分重要的工作。

(3) 个人误差:是由于观测者个人的习惯和特点所引起,如记录某一信号的时间总是滞后,读取仪表读数时总是把头偏向一边,判定滴定终点的颜色程度各人不同等。

(4) 方法误差:是因为实验方法的理论根据有缺点,或引用了近似公式所造成的。

实验工作者的重要任务之一是找出系统误差的存在,并尽可能将其校正。要是我们不知道系统误差存在的话,则其危害是很难估计的。实践告诉我们,单凭一种方法所得结果往往不是十分可靠的,只有不同实验者,用不同方法,不同仪器所得数据相符合,才可认为系统误差已基本消除。正如相对原子质量总不是单用一种方法确定的。

**2. 偶然误差** 即使系统误差已被校正,但在同一条件下,以同等仔细程度对某一个量进行重复观察时,仍会发现测得值间存在微小差异,这种差异的产生是没有什么原因的,差值的符号和大小也不确定。例如观察温度或电流时呈现

微小的起伏,估计仪器最小分度时而偏大或偏小,控制滴定终点的指示剂颜色稍有深浅等都是难以避免的,这是同一个量多次测定的结果不能绝对吻合的原因。

**3. 疏失误差** 是由于测量过程中读数读错,记录记错,计算搞错,或实验条件的突然改变等原因所引起。如果在实验中发现了疏失误差,便应及时纠正或将所得数据弃去。

系统误差和疏失误差总是可以设法避免的,而偶然误差则是不可避免的,因此最好的实验结果应该只含有偶然误差。

**4. 准确度和精密度** 准确度指测量结果的正确性,即与所谓真值<sup>①</sup>偏离的程度。精密度则指测量结果的再现性及测得数值的有效数字位数。例如用两支水银温度计测量超级恒温水浴的温度,一支温度计的最小分度是 $1^{\circ}\text{C}$ ,多次测量的平均结果是 $(25.2 \pm 0.2)^{\circ}\text{C}$ 。另一只温度计的最小分度是 $0.1^{\circ}\text{C}$ ,多次测量的平均结果是 $(25.18 \pm 0.02)^{\circ}\text{C}$ 。第二支温度计测量结果包含四位有效数,它的读数精度是较高的。又如用一支温度计进行一种液体凝固点的重复测量,各次测量结果的差异可能很大,也可能很小。若差异很小,就可以说测量的再现性高,测量的技术是精密的。因此,精密度一词包括了测量值的再现性及测量结果表示出的有效数字位数两个因素。当进行某一个量的重复测量之后,已确信从上述两方面来说是精密的,但如不能确定是否有系统误差存在(例如温度计未经校正),则虽然测量很精密,也可能是不准确的。因此,高的精密度不能保证高的准确度,但高的准确度就必须有高的精密度来保证。

**5. 绝对误差与相对误差** 绝对误差是测量值与真值间的差异。相对误差是绝对误差与真值之比。

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}}$$

绝对误差的单位与被测之量是相同的,而相对误差的单位是一,因此不同物理量的相对误差可以互相比较。另外,绝对误差的大小与被测之量的大小无关,而相对误差与被测之量的大小及绝对误差的数值都有关系。因此,不论是比较各种测量的精度,或是评定测量结果的质量,采用相对误差都更为合理。

**6. 测量精度的评价** 当我们在相同条件下对某一个量进行重复测量时,由于偶然误差的存在将会得到不同的观测值。那么,什么是被测之量的最佳代表值呢?如能确定这个最佳代表值的话,那么它的精度如何?

如果用多次重复测量的数据作图,以横坐标表示偶然误差 $\delta$ ,纵坐标表示各

---

<sup>①</sup> 实际测得值都只能是近似值,这里所指的真值是用校正过的仪器多次测量所得的算术平均值或是载入文献手册的公认值。



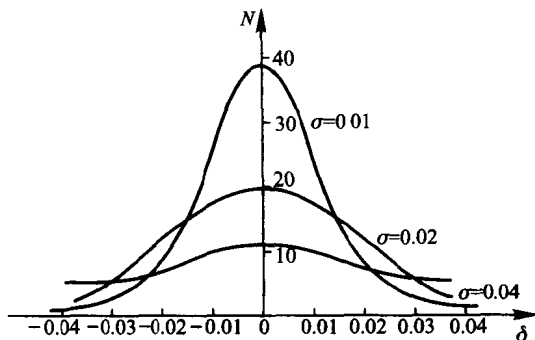


图 1-1 偶然误差正态分布曲线

偶然误差出现的次数  $N$ , 则可得到图 1-1 的曲线。图中每一条曲线表示用同一方法在相同条件下对同一个量进行多次测量的结果。如果所用方法或条件不同, 就会得到不同形状的分佈曲线。但从各曲线可看出, 误差分佈具有对称性, 即正负误差出现的概率相等。因此, 多次测量的算术平均值是被测之量的最佳代表值。即

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

式中:  $\bar{x}$ ——算术平均值;  $n$ ——测量次数;  $x_i$ ——个别测量值。

同时还可看出, 曲线形状是两头低, 中间高, 即小的误差比大的误差出现的概率高。这种形状的曲线叫偶然误差的正态分佈曲线(或称高斯分佈曲线), 它的解析式可写成:

$$N = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$

式中:  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}$ , 即均方根误差。

由此可见,  $\sigma$  愈小, 则小的偶然误差出现的概率愈大, 误差分佈曲线愈尖耸, 表现出测量精度愈高;  $\sigma$  愈大, 则情况相反。因而均方根误差表征着测量精度, 故有很多部门采用它作为评价测量精度的标准, 因而又称为标准误差。

实际运算中, 我们是用个别测量值与算术平均值的偏差  $d$  代替偶然误差  $\delta$ , 即

$$d_i = x_i - \bar{x}$$

这时标准误差的计算式为