



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

物理化学实验

朱洪涛 杨丽娟 编著



冶金工业出版社

www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

物理化学实验

朱洪涛 杨丽娟 编著

北京

冶金工业出版社

2019

内 容 提 要

本书是在校内讲义《物理化学实验》基础上,综合多年的教学实践并参阅了相关教材编写而成。全书包括绪论、误差和数据表达、实验仪器、基础实验、综合性实验以及附录六部分内容。15个基础实验涵盖了化学热力学、化学动力学、电化学、表面化学等物理化学的主要内容。5个综合性实验旨在训练学生综合应用所学物理化学知识独立分析和解决实际问题的能力。

本书可作为高等院校化学、化工、环境、材料、石油、生物、医学、食品等专业教学实验用书,也可供其他相关专业使用,并可作为科研和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/朱洪涛,杨丽娟编著. —北京:冶金工业出版社, 2019.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8146-9

I. ①物… II. ①朱… ②杨… 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(2019)第144421号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbcs@cnmp.com.cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 郑小利 版式设计 禹蕊

责任校对 李娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-8146-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2019年9月第1版,2019年9月第1次印刷

169mm×239mm; 10.5印张; 201千字; 158页

22.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

物理化学实验是高等院校化学、化工、应用化学、环境工程、材料、石油、生物、医学、食品等专业的一门重要基础实验课。本教材是为了进一步贯彻教育部全面提高教学质量、培养高素质人才的精神，结合华北电力大学应用化学、环境工程、环境科学、能源化工专业本科物理化学实验的教学要求，综合多年的教学实践并参阅了近些年国内外出版的相关教材，在以往使用多年的《物理化学实验》（校内讲义）基础上编写而成的。

本教材共分为绪论、误差和数据表达、实验仪器、基础实验、综合性实验以及附录六部分。第一章对物理化学实验目的、实验性质、基本要求、实验规则、实验室学生守则等内容都做了比较详细的阐述。第二章介绍了误差的起因和分类、误差的表示方法、误差的计算以及实验数据的表示方法。第三章介绍了热电偶、电导率仪、分光光度计、旋光仪、阿贝尔折射仪等物理化学实验常用仪器的构造及使用方法。第四章和第五章结合目前各院校教学设备情况选编了20个实验，其中基础实验部分涵盖化学热力学、化学动力学、电化学、表面化学等分支的15个实验。综合性实验部分设置的5个实验，旨在训练学生综合应用所学的物理化学知识、独立分析和解决问题的能力。本书的最后一部分为附录，列出了一些物理化学常用的数据表。

本书由华北电力大学朱洪涛副教授和杨丽娟副教授共同编著，修订工作由华北电力大学权宇珩、宋晓芳老师完成。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者不吝批评指正。

编 者

2019年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 物理化学实验目的	1
第二节 物理化学实验性质	1
第三节 物理化学实验基本要求	2
第四节 物理化学实验规则	3
第五节 物理化学实验安全规则	4
第六节 物理化学实验室学生守则	8
第二章 误差和数据表达	9
第一节 误差的起因和分类	9
第二节 误差的表示方法	11
第三节 间接测量结果的误差计算	13
第四节 测量结果的正确记录和有效数字	15
第五节 实验数据的表示方法	17
第三章 实验仪器	24
第一节 热电偶	24
第二节 电导率仪	26
第三节 分光光度计	28
第四节 温度计	32
第五节 常用压缩气体钢瓶的使用	36
第六节 UJ31 型低电势直流电位差计	38
第七节 旋光仪	40
第八节 阿贝折射仪	43
第九节 红外吸收光谱仪	46
第十节 X 射线衍射仪	51

第四章 基础实验	57
实验一 恒温槽的装配与性能测试	57
实验二 燃烧热的测定	61
实验三 溶解热的测定	66
实验四 凝固点降低法测定摩尔质量	70
实验五 偏摩尔体积的测定	74
实验六 碘和碘离子反应平衡常数的测定	80
实验七 二组分固-液平衡相图的绘制	84
实验八 三组分等温相图的绘制	88
实验九 强电解质极限摩尔电导率的测定	92
实验十 离子迁移数的测定	94
实验十一 原电池电动势的测定	99
实验十二 表面张力的测定	105
实验十三 蔗糖水解反应速度常数的测定	110
实验十四 沉降分析	114
实验十五 电泳	119
第五章 综合性实验	123
实验一 TiO_2 纳米材料的制备与表征	123
实验二 化学反应热力学函数的测定及其温度校正	126
实验三 临界胶束浓度的测定	130
实验四 纯液体物性的测定	133
实验五 溶液中的等温吸附	137
附录	141
附录 1 元素周期表	141
附录 2 国际单位制的基本单位	143
附录 3 国际单位制中具有专门名称的导出单位	144
附录 4 不同温度下水的饱和蒸气压	145
附录 5 一些液体物质的饱和蒸气压与温度的关系	147
附录 6 不同温度下水的密度 (1 atm)	148
附录 7 有机化合物的密度	149
附录 8 水的黏度	150
附录 9 不同温度下水的表面张力 σ	151

附录 10 不同温度下水和乙醇的折射率	152
附录 11 甘汞电极的电极电势与温度的关系	153
附录 12 不同温度下 KCl 在水中的溶解热	154
附录 13 KCl 溶液的电导率	155
附录 14 一些电解质水溶液的摩尔电导率 (25℃)	156
附录 15 常用参比电极电势及温度系数	157
参考文献	158

第一章 绪 论

物理化学实验是化学实验科学的一个重要分支，它综合了化学领域中各分支所需要的基本研究工具和方法，它通过物理的实验方法和数学的推导来研究体系的物理、化学性质与化学反应之间的关系，从而获得规律性的认识。

第一节 物理化学实验目的

物理化学实验是物理化学教学内容的一个重要组成部分，通过一些数据的测量，培养学生掌握本学科的典型研究工具和方法，研究物质的物理化学性质及其化学反应规律。其主要目的有以下几点：

(1) 掌握物理化学实验的基本方法、操作技能、常用仪器的构造原理及使用方法。了解近代大型仪器的性能及在物理化学中的应用，增强学生的动手能力、查阅文献能力、思维能力等，培养和提高学生从事实际工作的能力。

(2) 培养学生细致观察实验现象、准确测定实验数据的能力，使学生掌握正确记录、处理分析实验数据和实验结果的方法。增强学生的观察能力、表达能力和处理实验结果的能力。

(3) 加深对物理化学基本原理和概念的理解，培养理论与实际相结合的良好学风。

(4) 培养学生求真、求实的科学态度和严肃认真、一丝不苟的科学作风，培养学生勤奋学习、勤俭节约的优良品德。

第二节 物理化学实验性质

物理化学实验是继无机化学实验、有机化学实验、分析化学实验之后的一门重要的基础实验课程。它以数据测量为主要内容，通过对实验数据的科学处理来研究物质的物理、化学性质及其化学反应规律。物理化学实验首要的教学目标是使学生初步了解物理化学的研究方法，掌握物理化学的基本实验操作技术和技能，学会控温、控压等实验条件的操作方法，熟悉物理化学实验现象的观察和记录、实验数据的测量和处理、实验结果的分析和归纳等一套严谨的实验方法和数据处理方法，从而加深对物理化学基本理论的理解，增强发现问题、分析问题和

解决化学问题的综合技能和能力，初步学会从事科学研究的途径和方法。

物理化学实验综合了化学学科各领域所需要的基本研究工具和方法，它借助于物理学上光、热、电、磁等实验手段，来追踪化学变化过程中体系某些可测物理量的变化，并通过数学原理和方法来处理实验数据，得出科学结论。在物理化学实验中，学生通过测量和记录大量的实验数据，转换和处理实验数据，绘制图表，对实验中存在或出现的问题进行思考和讨论等，来培养实事求是的科学态度，严谨细致的工作作风，熟练正确的实验技能，分析问题和解决问题的能力等。对许多物理化学实验，可以通过不同的实验原理和方法测定不同的物理量来达到同一目的，在此过程中可以提高学生综合运用所学知识的能力；许多综合、设计性物理化学实验又为学生提出新的设计思想提供了实验场所，因此可以培养学生丰富的想象力、科学抽象和创新的能力。

第三节 物理化学实验基本要求

一、实验前充分预习

做每一个实验之前，学生要仔细阅读实验教材及有关的参考资料，进行充分的预习，从而明确实验目的，掌握实验原理，了解实验方法和所使用的仪器的基本构造、工作原理、操作方法及使用中的注意事项，明确实验的操作步骤、需要进行测量的参数以及需要记录的数据。在此基础上，写出实验预习报告。预习报告内容包括实验名称、简要原理、操作方案、注意事项、记录测量数据的表格等。只有做好实验预习并写好预习报告，学生才能在实验过程中思路清晰，操作有条不紊，对实验现象及测量数据给出正确的分析和判断，顺利完成实验并取得较好的学习效果。

二、实验操作认真细致

学生在实验室做实验要遵守实验室的规章制度、操作规程和安全规则。动手做实验前先核对实验的仪器和药品，若有缺损，应立即向教师申报。检查仪器药品正确无误后，进行洗涤器皿、配制溶液、连接线路、调节仪器等实验准备工作，然后按计划进行操作和测定。操作过程要严格控制实验条件，学会仔细观察和分析、积极思考实验现象，客观、准确、完整、认真地记录原始实验数据和实验条件。原始数据应用签字笔或者钢笔记录在预习报告上，不得任意记在纸上或其他地方。原始数据不能任意涂改和伪造，如有记错可在原数据上画一杠，再在旁边记下正确值。每一次实验自始至终要求学生学习态度要严谨，要勤于动手和

动脑,掌握好方法要领和操作技能。实验结束后,由指导教师审查数据签字,验收仪器装置。

三、认真撰写实验报告

完成实验报告是实验的一项基本要求,实验报告是实验工作的总结。做完实验后要独立撰写实验报告,内容包括实验目的、实验原理、实验仪器药品、实验操作过程、数据记录及其处理(列出原始数据、所用文献数据、计算数据过程、计算公式、图形、结果)、讨论(对实验现象和测定数据的分析、实验心得体会、实验结果误差分析、对实验方法和操作的改进意见等)。数据处理应在明确原理、方法步骤及计算公式和有效数字的基础上,按法定单位标准进行运算、做图、列表等来得出结果,然后对结果进行误差分析,结合实验现象进行讨论、解释或对实验提出改进意见。通过撰写实验报告,不仅能培养学生正确、有效的表达能力以及处理、分析、归纳数据和解决问题的能力,还能使学生在实验数据处理、做图、误差分析、问题归纳总结等方面得到训练和提高,学生实验报告的质量在很大程度上反映了学生的实际水平和能力。

第四节 物理化学实验规则

实验规则是人们长期从事化学实验工作总结出来的,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。

(1) 实验中严格按照操作规程进行实验,严格遵守实验室安全规则,保证实验安全进行。注意用电安全、化学药品使用安全,防止易燃物着火。实验开始前,应先由教师检查线路,经同意后,方可插上电源。仪器安装好后,必须经教师检查后方能开始实验。

(2) 遵守纪律,不迟到,不早退。实验时应穿工作服,保持室内安静,不大声嬉戏、喧哗,不到处乱走,不吃东西,不允许在实验室内嬉闹及恶作剧。保持台面整洁,书包、衣物等不要放在实验台上,严禁乱扔废纸等杂物。

(3) 实验使用水、电、煤气、药品试剂等都应本着节约原则。

(4) 爱护仪器设备,不得随意拆看仪器零件,并认真填写仪器使用登记卡。未经老师允许不得乱动精密仪器,使用时要爱护各种仪器。学生完成实验后应做好仪器使用及仪器的状态记录,对于出现故障的仪器设备应如实记录并及时报告指导教师以便于设备的维修与保养。

(5) 随时注意室内整洁卫生,废物只能丢入废物缸内,不能随地乱丢,更不能丢入水槽,以免发生堵塞。需要回收的药品统一进行回收,不能随意倒入下水道。

(6) 实验结束后, 将玻璃器皿洗净, 将使用的仪器、试剂药品整理好, 把实验台打扫干净。实验室由同学轮流值日, 负责打扫整理, 检查水、电、门窗是否关好, 电闸是否拉掉, 以保证实验室的安全。

第五节 物理化学实验安全规则

一、安全规则

在化学实验室里, 安全是非常重要的, 它常常潜藏着诸如发生爆炸、着火、中毒、灼伤、割伤、触电等事故的危险性。保证实验过程中学生、教师和其他实验工作人员的人身安全是首位的, 因此除了在实验室设计时应充分考虑到实验室的消防、用电安全、有害气体的处理与排放、有害化学品的存储及其他可能导致人身安全问题以外, 学生在实验过程中, 还应特别注意以下偶发事件的防范。

违章用电常常可能造成仪器设备损坏、人身伤亡、火灾等严重事故。物理化学实验室使用电器较多, 特别要注意安全用电。

(一) 防止触电

(1) 电器设备保持干燥, 不能用潮湿的手接触电器。

(2) 所有电源的裸露部分都应有绝缘装置。

(3) 已损坏的接头、插座、插头或绝缘不良的电线应及时更换。

(4) 实验时必须先接好线路再插上电源, 实验结束时, 必须先切断电源再拆线路。

(5) 如遇人触电, 应迅速切断电源后再进行处理。

(6) 不能用试电笔去试高压电, 使用高压电源应有专门的防护措施。

(7) 维修或安装电器设备时, 应先切断电源。

(二) 防止着火

(1) 使用的保险丝型号与实验室允许的电流流量必须相配, 防止电器设备超负荷运行。

(2) 电线的安全通电量应大于用电功率。负荷大的电器应接较粗的电线, 禁止高温热源接近电线。

(3) 生锈的仪器或电器接触点(如电插头)接触不良处, 应及时处理, 以免产生电火花。

(4) 室内若有氢气、煤气等易燃易爆气体, 应避免产生电火花。

(5) 继电器工作和开关电闸时, 易产生电火花, 要特别小心。

(6) 如遇电线走火, 切勿用水或导电的酸碱泡沫灭火器灭火。应立即切断电源, 用沙或二氧化碳灭火器灭火。

(三) 防止短路

(1) 线路中各接点应牢固，电路元件两端接头不要互相接触，以防短路，烧坏仪器或发生触电、着火等事故。

(2) 电线、电器不要被水淋湿或浸在导电液体中，例如实验室加热用的灯泡接口不要浸在水中。

二、电器仪表的安全使用

(1) 使用前先了解电器仪表要求使用的电源是交流电还是直流电，是三相电还是单相电以及电压的大小（如 380V、220V、6V）。须弄清电器功率是否符合要求及直流电器仪表的正、负极。

(2) 仪表量程应大于待测量。待测量大小不明时，应从最大量程开始测量。

(3) 实验前要检查线路连接是否正确，经教师检查同意后方可接通电源。

(4) 在使用过程中如发现异常，如不正常声响、局部温度升高或嗅到焦味，应立即切断电源，并报告教师进行检查。

三、使用化学药品的安全防护

(一) 防毒

(1) 实验前，应了解所用药品的毒性及防护措施。

(2) 操作有毒气体（如 H_2S 、 Cl_2 、 Br_2 、 NO_2 、浓 HCl 和 HF 等）应在通风橱内进行。若发生有毒气体泄漏，应及时撤离现场，等待处理。

(3) 苯、四氯化碳、乙醚、硝基苯等的蒸气会引起中毒。它们虽有特殊气味，但久嗅会使人嗅觉减弱，所以应在通风良好的情况下使用。

(4) 有些药品（如苯、有机溶剂、汞等）能透过皮肤进入人体，应避免与皮肤接触。

(5) 氰化物、高汞盐（ HgCl_2 、 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 等）、可溶性钡盐（ BaCl_2 ）、重金属盐（如镉、铅盐）、三氧化二砷等剧毒药品，应妥善保管，使用时要特别小心。

(6) 禁止在实验室内喝水、吃东西。饮食用具不要带进实验室，以防毒物污染，离开实验室及饭前要洗净双手。

(二) 防爆

可燃气体与空气的混合物在比例处于爆炸极限时，受到热源（如电火花）诱发将会引起爆炸。一些气体的爆炸极限见表 1-1。

(1) 使用可燃性气体时，要防止气体逸出，室内通风要良好。

(2) 操作大量可燃性气体时，严禁同时使用明火，还要防止发生电火花，并防止其他物品撞击产生火花。

(3) 有些药品如叠氮铝、乙炔银、乙炔铜、高氯酸盐、过氧化物等受震和受热都易引起爆炸, 使用要特别小心。

(4) 严禁将强氧化剂和强还原剂放在一起。

(5) 久藏的乙醚使用前应除去其中可能产生的过氧化物。

(6) 进行容易引起爆炸的实验, 应有防爆措施。

表 1-1 与空气相混合的某些气体的爆炸极限 (20℃, 101325Pa)

气体	爆炸高限 (体积分数)/%	爆炸低限 (体积分数)/%	气体	爆炸高限 (体积分数)/%	爆炸低限 (体积分数)/%
氢气	74.2	4.0	醋酸	—	4.1
乙烯	28.6	2.8	乙酸乙酯	11.4	2.2
乙炔	80.0	2.5	二氧化碳	74.2	12.5
苯	6.8	1.4	水煤气	72	7.0
乙醇	19.0	3.3	煤气	32	5.3
乙醚	36.5	1.9	氨	27.0	15.5
丙酮	12.8	2.6			

(三) 防火

(1) 许多有机溶剂如乙醚、丙酮、乙醇、苯等非常容易燃烧, 大量使用时室内不能有明火、电火花或静电放电。用后还要及时回收处理, 不可倒入下水道, 以免聚集引起火灾。实验室内不可存放过多这类药品。

(2) 有些物质如磷、金属钠、钾、电石及金属氢化物等, 在空气中易氧化自燃。还有一些金属如铁、锌、铝等粉末, 比表面积大也易在空气中氧化自燃。这些物质要隔绝空气保存, 使用时要特别小心。

实验室一旦着火不要惊慌, 应根据情况选择不同的灭火剂进行灭火。以下几种情况不能用水灭火:

(1) 有金属钠、钾、镁、铝粉、电石、过氧化钠等时, 应用干沙等灭火。

(2) 密度比水小的易燃液体着火, 采用泡沫灭火器。

(3) 有灼烧的金属或熔融物的地方着火时, 应用干沙或干粉灭火器。

(4) 电器设备或带电系统着火, 用二氧化碳灭火器。

(四) 防灼伤

强酸、强碱、强氧化剂、溴、磷、钠、钾、苯酚、冰醋酸等都会腐蚀皮肤, 特别要防止溅入眼内。液氧、液氮等低温也会严重灼伤皮肤, 使用时要小心。万一灼伤应及时治疗。

四、汞的安全使用

汞中毒分急性和慢性两种。急性中毒多为高汞盐（如 HgCl_2 ）入口所致，0.1~0.3g 即可致死。吸入汞蒸气会引起慢性中毒，症状有食欲不振、恶心、便秘、贫血、骨骼和关节疼、精神衰弱等。汞蒸气的最大安全浓度为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，而 20°C 时汞的饱和蒸气压为 0.0012mmHg ^①，超过安全浓度 100 倍。因此使用汞必须严格遵守安全用汞操作规定。

- (1) 不要让汞直接暴露于空气中，储汞容器内的汞液面上应加盖一层水。
- (2) 储汞的容器下面一律放置浅瓷盘，防止汞滴散落到桌面上和地面上。
- (3) 一切转移汞的操作，也应在浅瓷盘内进行（盘内装水）。
- (4) 实验前要检查装汞的仪器是否放置稳固，橡皮管或塑料管连接处要缚牢。
- (5) 储汞的容器要用厚壁玻璃器皿或瓷器。用烧杯暂时储汞，不可多装以防破裂。
- (6) 若有汞掉落在桌面上或地面上，先用吸汞管尽可能将汞珠收集起来，然后用硫黄盖在汞溅落的地方，并摩擦使之生成 HgS ，也可用 KMnO_4 溶液使其氧化。

- (7) 擦过汞或汞齐的滤纸或布必须放在有水的瓷缸内。
- (8) 储汞容器和有汞的仪器应远离热源，严禁把有汞仪器放进烘箱。
- (9) 使用汞的实验室应有良好的通风设备，纯化汞应有专用的实验室。
- (10) 手上若有伤口，切勿接触汞。

五、X 射线的防护

X 射线被人体组织吸收后，对人体健康是有害的。一般 X 射线衍射仪用的软 X 射线（波长较长，穿透能力较低）比医院透视用的硬 X 射线（波长较短，穿透能力较强）对人体组织伤害更大。轻的造成局部组织灼伤，如果长时间接触，重的可能造成白细胞下降，毛发脱落，发生严重的射线病。但若采取适当的防护措施，上述危害是可以防止的。

X 射线防护最基本的一条是防止身体各部位（特别是头部）受到 X 射线照射，尤其受到 X 射线的直接照射，因此要注意 X 射线管窗口附近用铅皮（厚度 1mm 以上）挡好，使 X 射线尽量控制在一个局部小范围内，不让它散射到整个房间，在进行操作时（尤其是对光时），应戴上防护用具（特别是铅玻璃眼镜）。操作人员站的位置应避免直接照射。操作完后，用铅屏把人体与 X 射线机隔开；

① $1\text{mmHg} = 133.3224\text{Pa}$ 。

暂时不工作时，应关好窗口。非必要时，人员应尽量离开 X 射线实验室。室内应保持良好通风，以减少由于高压和 X 射线电离作用产生的有害气体对人体的影响。

第六节 物理化学实验室学生守则

学生进入物理化学实验室，除了要遵守实验室规则和安全规则外，还必须遵守以下实验室学生守则。

(1) 学生应按编定的组别到指定的位置做实验，不得随意调动实验台位。

(2) 实验前必须有实验预习报告，认真复习与实验有关的理论知识，明确实验原理、目的要求、实验方法、步骤和注意事项，经指导教师检查合格后方可进行实验操作。

(3) 严格遵守纪律，注意保持实验室的安静、整洁，实验时不得喧哗或大声讨论，不准将实验废液、废物乱倒乱扔，尽量减少不必要的走动，以免影响实验结果和他人做实验。

(4) 严格遵守实验仪器的操作规程，在使用仪器前，应了解其性能和操作方法，对精密、贵重仪器设备，应在教师指导下认真操作。

(5) 要以严谨的科学态度进行实验，实验时要认真记录实验数据和实验现象，对实验中发生的问题，要善于分析，力求从理论上加以解释，实验结束后，必须按规定的时间和要求完成实验报告。

(6) 按要求使用水电和有毒有害化学药品，避免事故的发生。在实验室发生安全事故时，应保持冷静，应在保障自身安全的前提下采取适当的抢救措施。控制现场，并报告指导教师酌情处理。

(7) 实验完毕，按规定做好仪器设备的擦洗、校验、复原工作，自觉做好实验室的清洁，经指导教师检查同意后方可离开实验室。

(8) 实验过程中如损坏仪器设备，应如实报告实验指导教师或实验工作人员，办理登记手续，凡属疏忽大意或违反操作规程而造成丢失、损坏仪器、设备及其他公物者，要酌情赔偿，情节严重者，给予纪律处分。

第二章 误差和数据表达

物理化学实验通常是以研究体系的物理化学性质与化学反应之间的关系并测量体系的物理量为基本内容，然后对测量数据进行整理，用计算或做图的方法求得所需的实验结果并找到变量之间的规律。在任何一项测量中，由于受外界条件、仪器的优劣和感观等条件的限制，实验测得的数据只能达到一定的准确度，即测量值与真实值之间总有一个差值，称为测量误差。实践证明，一切测量均存在误差，即真实值是无法测量的。

研究误差及数据处理的目的，不是使误差趋于零，因为这往往是做不到的，也不是一定要使误差减小到不能再小的程度（并非必要），因为往往为此要花大量的劳力和物力。研究误差及数据处理的主要目的是找到合适的实验方法、选择精度适当的仪器、寻找最有利的测量条件，使得在一定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（分散程度）。直接测量的误差取决于测量方法、测量时的环境及测量者的技巧。间接测量的误差取决于直接测量值、做图和所用计算公式的准确度。

第一节 误差的起因和分类

根据性质的不同，一般测量误差可分为系统误差和偶然误差两类。

一、系统误差

系统误差又称恒定误差，这种误差是由仪器误差、试剂误差、方法误差、环境误差、人身误差等原因引起的。其特点是：在相同条件多次重复测量时，这种误差会重复出现，多次测量误差也不会相互抵消，所产生的误差大小不变，方向一致。系统误差主要有：

(1) 仪器误差。仪器误差是由仪器结构上的缺点或调节不适当所引起的，如天平的不等臂、砝码不准等。它可以用一定的检测方法来检出和校正。

(2) 试剂误差。试剂误差是由化学试剂纯度不够引起的，如化学试剂中含有其他干扰物质。

(3) 环境误差。环境误差是由仪器使用环境不当或外界条件（如温度、压强、湿度等）发生单一方向变化引起的误差。

(4) 方法误差。方法误差是由测量方法所依据的理论不完善或引用了近似公式造成的。如根据理想气体状态方程来计算气体的物理量时, 由于真实气体和理想气体之间存在偏差导致一定的误差。

(5) 人身误差。人身误差产生于测量者的感觉器官的不完善, 或个人不恰当的视读习惯及偏向。如人对颜色的敏感程度不同, 会导致对滴定终点判断产生误差; 读取刻度时候也会出现有的人偏大, 有的人偏小。

因此, 系统误差不能靠增多测量次数来消除, 只能通过对方法的改进、仪器的校准或通过不同实验者, 用不同实验方法和不同仪器进行测量, 获得相同的结果而得以消除。

二、偶然误差

偶然误差又称随机误差, 它是由一些随机的偶然因素造成的, 是客观存在的, 不以人的意志为转移的误差。即使在系统误差已被改正, 但在相同条件下多次重复测量同一物理量时, 每次测量结果都有所不同, 其特点是: 大小不等, 方向不定, 它的出现纯属随机。造成上述偶然误差的原因大致有:

- (1) 实验者对仪器最小分度以下的估读每次很难严格相同。
- (2) 测量仪器的某些活动部件所指示的测量结果很难每次完全相同。
- (3) 影响测量结果的某些实验条件, 例如温度值不可能在每次实验中控制得绝对一样。

偶然误差是不可避免的, 它的产生是由一些偶然因素造成的。它的大小和符号一般服从正态分布规律。如果用多次测量的结果做图, 以横坐标表示偶然误差 σ , 以纵坐标表示各个偶然误差出现的次数 N , 则可得到图 2-1 中的曲线。图 2-1 中曲线 1 和 2 代表用同一方法, 在相同条件下的测量结果。

图 2-1 中 σ 也称为均方根误差或标准误差。 σ 越小, 误差分布曲线越尖锐, 即较小的偶然误差出现的概率大, 表明测量的精密度较高。

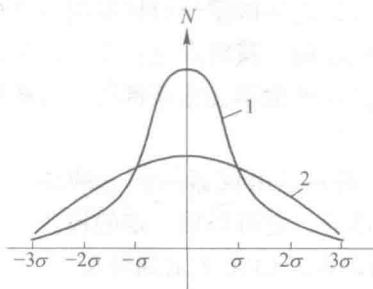


图 2-1 偶然误差正态分布曲线

对于偶然误差, 其算术平均值 $\bar{\sigma}$ 随测量次数 n 的无限增加而趋于零, 即