

大学 物理实验

陈桔
邱春蓉◎编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

大学物理实验

陈 桔 邱春蓉 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

大学物理实验 / 陈桔, 邱春蓉编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2011.12
ISBN 978-7-5643-1536-8

I. ①大… II. ①陈… ②邱… III. ①物理学 - 实验
- 高等学校 - 教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 269526 号

大学物理实验

陈 桔 邱春蓉 编

责任编辑	牛 君
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川锦祝印务有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	18.5
字 数	462 千字
版 次	2011 年 12 月第 1 版
印 次	2011 年 12 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1536-8
定 价	34.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是根据教育部《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》，参考国内其他大学的有关资料，结合我们的教学经验编写而成的，拟为西南交通大学各工科专业进行基础物理实验教学提供一本教材或教学参考书，也可作为其他人员初学物理实验的参考书。

本书包含误差理论和数据处理的基础知识、基本仪器使用和基本实验技术简介，还包含涉及力、热、电、磁、光学以及近代物理学的多个实验的基本原理和实验内容等。本书共 8 章：第 1 章阐述了物理实验课程的目的、作用和主要教学环节。第 2~4 章主要介绍误差理论和数据处理的基础知识、基本仪器的使用知识和基本调节技术。第 5~8 章先编写了 16 个基础实验；为进一步提高学生的实验能力，还编写了 6 个综合性实验；第 7 章在概括地阐述了设计性实验的教学要求和一般程序之后，编写了 7 个设计性实验；最后，为丰富知识、拓宽视野，结合工科学校的特点，编写了 6 个近代物理及技术实验。

本书的编写力求叙述清楚、层次分明、联系实际、引导思考。为了增强可读性，便于读者自学，在误差理论和不确定度概念的介绍中，较少地引入数学公式，必要的公式推导也力求简洁，侧重于基本概念的阐述与应用。书中适当地引入不确定度的概念，是为了靠近当前这方面的要求与发展。书中所用术语也尽可能与国家计量局颁布的技术规范一致。本书在介绍每个实验时，设有“预习参考”条目，以此作为指针，指引读者去学习该实验所涉及的预备知识，其中的大部分内容在本书中都可找到“出处”，这样做的好处在于方便读者学习，尤其是对基本的内容，通过不断温习，加深印象，牢固掌握。

本书的第 1、2 章是大学物理实验课中绪论课的主要内容，大约用 6 个学时；第 3、4 章是学生自学内容，建议听完绪论课和分组实验前，阅读该章节；进入各实验后，在必要的地方按书中指引，重温第 1~4 章的有关内容，我们认为如此使用本书能较好地发挥其效用。在本书所编实验中，教研室将根据当时情况，选择其中部分实验安排教学。

在本书的编写过程中，参考了本校物理实验中心多位教师编写的有关教材，所涉及的人员是袁玉辉、曾加刚、温诚忠、郭开慧、魏云、吴平、龚宁、巴璞、姜向东、杨仕君、吴晓立、朱宏娜、黄玉霖、庄建、青莉，姜向东和黄玉霖还审阅了本书，另有冯振勇、王家强、胡清、黄整、陈汉军、吴文军、常相辉等教师为本书的编写提供了帮助。这本书体现了实验中心教师多年的教学经验和近些年教改的成果，在此向各位同仁致谢。

本书的编写分工如下：邱春蓉编写了以下实验：5.1、5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.8、5.9、6.1、6.2、6.3、6.8、6.9、7.2、7.3、8.4、8.5；巴璞编写了 6.5；其余部分主要由陈桔编写，并对实验 5.1 和 8.4 作了重要修改。整部书稿经多次交换意见后，由陈桔统一定稿。

囿于编者的经验和水平，书中难免存在错误和不当之处，期待读者给予指正。

编 者

2011 年冬

于交大九里堤校园

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 物理实验课的目的	1
1.2 物理实验课程的要求	1
1.3 物理实验课程基本程序	2
1.4 学生实验守则	3
第 2 章 测量误差与数据处理基础知识	4
2.1 测量与误差	4
2.1.1 测 量	4
2.1.2 误 差	6
2.2 系统误差和随机误差	7
2.2.1 随机误差	7
2.2.2 系统误差	8
2.2.1 已定系统误差及修正	10
2.2.2 未定系统误差	10
2.3 粗大误差	10
2.4 测量结果的不确定度评定	11
2.4.1 不确定度的含义	11
2.4.2 直接测量结果的不确定度估计	12
2.4.3 间接测量结果的不确定度	15
2.4.4 微小不确定度准则	17
2.4.5 测量结果的表示	18
2.4.6 最佳估值与不确定度计算提要	18
2.5 数据处理基础	19
2.5.1 测量值的有效数字	19
2.5.2 实验数据处理的基本方法	20
习 题	26
第 3 章 常用仪器的原理及使用	28
3.1 长度测量	28
3.1.1 游标卡尺	28

3.1.2 螺旋测微计	30
3.1.3 光杠杆	31
3.2 质量测量	32
3.3 时间测量	35
3.3.1 电子秒表	35
3.3.2 光电控制计时器	36
3.4 光学测量仪器	36
3.4.1 白炽灯	37
3.4.2 钠光灯和汞灯	37
3.4.3 He-Ne 激光光源	37
3.4.4 半导体激光光源	38
3.4.5 望远镜	38
3.4.6 测微目镜	40
3.4.7 读数显微镜	41
3.4.8 使用光学仪器的注意事项	42
3.5 电磁学测量仪器	43
3.5.1 电 源	43
3.5.2 信号源 (信号发生器, 函数发生器)	45
3.5.3 常用电气元件符号与电表面板上的标记	47
3.5.4 磁电式直流电表	48
3.5.5 万用表	50
3.5.6 滑线变阻器	53
3.5.7 电阻箱	53
3.6 温度测量	55
3.6.1 水银温度计	55
3.6.2 热电偶温度计	55
第 4 章 实验基本调节技术	57
4.1 零位调整	57
4.2 水平或垂直的调整	57
4.3 共轴调整	58
4.4 先半定量后定量	59
4.5 回路接线法	59
4.6 减小空程误差	59
4.7 消除视差	60
第 5 章 基础实验	61
5.1 杨氏弹性模量的测量	61

5.2 转动惯量的测量	69
5.3 空气比热容比的测量	77
5.4 不良导体导热系数的测量	82
5.5 中、低值电阻的测量	88
5.5.1 中值电阻的测量	88
5.5.2 低值电阻的测量	91
5.6 静电场的模拟实验	95
5.7 电子束聚焦和偏转的研究	104
5.8 示波器的调整和使用	111
5.9 电子荷质比的测量	122
5.10 霍尔元件基本参量及磁场分布的测量	128
5.11 光学基础实验	137
5.12 分光计的调整与使用	142
5.13 迈克尔逊干涉仪实验	151
5.14 牛顿环与劈尖干涉实验	156
5.15 偏振光的研究	162
5.16 全息照相	168
 第 6 章 综合性实验	 174
6.1 电位差计实验	174
6.2 超声波波速的测量	185
6.3 非平衡电桥与压力传感器的研究	192
6.4 光电效应法测普朗克常量	200
6.5 密立根油滴实验	204
6.6 棱镜摄谱实验	208
 第 7 章 设计性实验	 215
7.1 关于设计性实验	215
7.1.1 设计性实验的三个阶段	215
7.1.2 实验方法与实验仪器的选择	216
7.1.3 明确测量条件与拟定实验程序	218
7.2 重力加速度的测量	220
7.3 电表改装与校准	224
7.4 分光计测介质折射率	228
7.5 凹透镜焦距测量	230
7.6 自组望远镜	232
7.7 光栅常数的测量	234
7.8 双棱镜干涉的研究	236

第 8 章 近代物理与技术实验	238
8.1 夫兰克-赫兹实验	238
8.2 地磁场的测量	246
8.3 硅光电池特性的研究	253
8.4 液晶的电光特性实验	261
8.5 光速的测量	266
8.6 红外传输实验	273
附 录	282
附录 A 基本物理常数	282
附录 B 国际单位制	283
附录 C 常用物理参数	285
参考文献	288

第 7 章

绪 论

1.1 物理实验课的目的

科学实验是自然科学研究的手段之一，以探索、验证和预测自然科学新现象、新规律为目的。总体来说，科学实验包括以下 4 个步骤：① 确定研究对象，给出研究方案；② 选择或设计实验装置与实验条件；③ 观察实验现象与记录实验数据；④ 整理分析实验结果，得出结论。

大学物理实验课程与科学实验的不同之处在于：它以教学为目的，是学生以后从事科学实验打基础的。因此，在多数情况下，已确定了具体的研究对象，并给出了实验所需要的仪器。课程的教学目的如下：

（1）系统地传授实验知识、实验方法和实验技能，培养学生从事科学实验的基本能力。实验知识包括各类常用仪器的结构与工作原理、实验的误差分析与不确定度评定、实验结果的表述方法、如何对实验结果进行分析与判断等。实验方法包括如何根据实验目的确定实验方案、如何选择和正确使用仪器、如何减少各类误差等。实验技能包括各种调节与测量技术，如粗调、微调、调零、读数、定标……，电工技术，如识别元件、排除故障、安全用电……，电子技术，如微电流检测、弱信号放大……，传感器技术，如力传感器、温度传感器、磁传感器、光传感器……，以及查阅文献的能力、自学能力、协作共事的能力、总结归纳能力等。

（2）使学生掌握实验数据的基本处理方法。

（3）培养学生实事求是的科学态度及坚持不懈的工作作风。

（4）提高科学思维、分析与创新能力。教学实验大都经过精心设计，但仍会遇到许多问题，对这些问题的分析与解决，是提高学生综合素质的主要途径。

1.2 物理实验课程的要求

物理实验课的目的是使学生在独立完成实验项目的过程中积累知识，提高科学素质和创新能力。为了实现这一目的，我们要求学生做到以下几点：

(1) 进行实验之前, 要清楚以下问题: 被测量是什么? 用什么途径去测量? 有无其他的测量途径?

(2) 要特别注意实验中所采用的实验方法, 因为这些方法在日后的工作中很可能会用到, 而且它们又是复杂测量的基础, 在学习时不仅要掌握它们的原理, 而且要知道适用条件及优缺点, 这些内容只有通过亲身实践才能真正体会到。

(3) 要有意识地培养良好的实验习惯, 例如, 如实地记录原始数据, 修养操作姿态。因为好的习惯是安全实验、避免差错的保证。

(4) 要逐步学会分析、排除实验中出现的某些故障。当实验结果不理想时, 要考虑实验方法是否正确, 仪器可能带来多大误差, 实验环境等因素对实验有多大影响。

(5) 要注意实验室操作规程和安全规则, 各种测量仪器有不同的使用要求与条件, 操作不当不仅会损坏仪器, 而且可能对身体造成伤害, 因此要遵守实验室的操作规程。

总之, 主动分析与思考是实现本课程目的的最关键因素。我们期望每个学生都能以研究者的态度去探讨最佳实验方案、实验装置、操作步骤, 注意实验条件, 在学习物理实验基础知识的同时, 接受严格的训练, 为以后独立设计实验方案和完成实验课题创造条件。

1.3 物理实验课程基本程序

大学物理实验教学有三个环节: 预习、实验操作和记录、写实验报告。

1. 预 习

实验前要做好预习, 预习是上好实验课的基础和前提。预习的基本要求是认真阅读实验教材, 了解实验内容和目的、实验涉及的原理和测量方法、实验仪器设备, 通过预习, 应对将做的实验有一个初步的了解。在此基础上, 写出预习报告, 内容包括实验目的、原理、步骤、电路或光路图及数据表格等。注意数据表格是不应漏掉的, 作数据表格有助于理解实验内容, 还能节省实验课上的时间。

2. 实验操作和记录

进入实验室后应遵守实验室各项规章制度, 这些规章制度是为保护人身安全和仪器设备安全而规定的, 违反就可能酿成事故。实验正式进行之前, 认真阅读实验桌上的指导卡片, 熟悉一下所用仪器设备的性能、使用条件, 避免盲目操作, 损坏仪器。

实验记录是实验的重要组成部分, 记录应尽量清楚、详尽。科学研究中的实验记录是极其宝贵的资料, 要长期保存, 因此必须认真对待。测量的原始数据要记录在预先准备好的表格中, 读数应仔细, 要记录必要的环境条件, 如温度、气压等。实验中观察到的现象或有异常事件发生也应根据情况予以记录。数据记录必须真实, 不可以凑数据, 这是一个科学工作者的基本道德素养。发现数据错误时, 要重新测量。

3. 写实验报告

实验报告是实验工作的总结, 学会写实验报告是培养实验能力的一个方面。要用简明的

形式将实验结果完整、准确地表达出来，要求文字通顺、字迹端正、图表规范、得出结果、讨论总结。

实验报告应包括以下内容：

(1) 阐明为什么以及如何做实验，包括实验目的、原理和步骤（可在预习报告基础上修改和删补）。

(2) 真实记录实验数据、实验条件和其他实验信息。实验中所测得的原始数据要用表格的形式列出，并正确表示有效数字和单位；按要求处理测量数据（计算或作图，或对测量结果进行不确定度评定等）；认真分析和解释实验结果，得出实验结论。此外，根据情况完成以下一项或几项内容：讨论实验中观察到的异常现象，分析实验误差的主要来源，对实验仪器、装置提出改进建议，回答思考题。

实验报告应使用学校统一的实验报告纸，实验曲线必须画在坐标纸上。

1.4 学生实验守则

为保证实验顺利进行，特制订以下实验制度：

(1) 凡参加物理实验的学生。实验前必须认真预习，写出预习报告，经教师检查后方可进行实验。

(2) 进入实验后要保持安静，严禁闲谈喧哗。服从教师的指导，按课堂指定组别分组实验。专心听讲，认真操作，不可草率敷衍、拼凑或抄袭数据。

(3) 必须独立完成实验报告。

(4) 遵守纪律，不迟到，不缺课。对于迟到时间超过 15 分钟者取消当次实验资格，对于缺课者当次实验记零分。

(5) 爱护仪器，不准擅自拆卸仪器，仪器出现故障或损坏要及时报告。如果损坏仪器，根据情况按规定给予赔偿。

(6) 实验完毕，数据需经教师审阅、签字。整理还原仪器，将桌面和凳子整理归位。

(7) 严禁乱丢垃圾。

(8) 实验报告在实验后一周之内投送报告箱。

第 2 章

测量误差与数据处理 基础知识

本章以测量误差的分析与不确定度评定、实验数据的处理为主要内容。它们属于误差理论的基础知识，这些知识不仅仅在物理实验中会用到，而且将来从事工程实验工作也是必须了解和掌握的。这部分内容对低年级学生来说难度较大，不可能在一两次学习中掌握，我们要求学生认真听教师讲一遍，自己至少阅读一遍，做到对有关问题有一个初步的了解，然后再结合每一个具体实验。复习本章内容。通过学习—运用—再学习—再运用的过程，逐步加深理解，直至很好地掌握。需要说明的是，对这些内容的深入讨论是数理统计学以及计量学的任务，本书在材料的取舍上，着重于几个重要概念以及简单情况下的处理方法，不进行严密的论证，并在必要的地方作了一些简化处理。

2.1 测量与误差

本节主要介绍误差理论中常见的若干名词。

2.1.1 测 量

物理实验是一门定量的科学，它研究测量原理、测量方法、测量装置以及测量结果的准确程度。测量就是把被测量与规定的标准量，按一定方法进行比较，确定其倍数的过程。

1. 直接测量和间接测量

按是否直接获得测量值，测量可分为直接测量和间接测量。

用仪器直接读出测量值的测量为直接测量，例如，用米尺测量长度，用温度计测量温度，用电流表测量电流等都是直接测量。如果是依据函数关系式，将直接测量的结果代入其中，计算出被测量值，这种测量称间接测量。在物理实验中较多见的是间接测量，例如，测量某线性电阻的阻值，先用电压表和电流表“直接测量”该电阻两端的电压降 U 和通过电阻的电流 I ，然后代入公式 $R=U/I$ ，计算该电阻值，因此对该电阻值的测量是间接测量。

2. 等精度测量和非等精度测量

按测量条件变化与否，测量可分为等精度测量和非等精度测量。

所谓测量条件是指一切能够影响结果并可控制的全部因素，包括进行测量的人、测量方法、测量仪器及其调整方法、环境条件等。环境条件指测量过程中环境的温度、湿度、大气压力、气流、振动、辐射强度等。

在测量条件相同的情况下进行的一系列测量为等精度测量。例如，同一个人、在同样的环境条件下、在同一仪器上、采用同样测量方法进行多次测量，每次测量值结果的可靠程度是相同的，没有任何理由认为某次测量结果比另一次更为准确，这些测量就是等精度测量。不等精度测量是指在对某一物理量进行多次测量时，测量条件不完全相同，测量结果的可靠程度当然也不同的一系列测量。一般来讲，多次测量中保持每次测量条件完全相同并不容易，所以在重复测量时，要注意尽量保持相同的测量条件。有时测量条件的变化对测量结果的影响可以忽略，这时的测量可视为等精度的。

3. 测量的精密度、正确度和准确度

物理量的真值，指物理量在确定条件下实际具有的量值。

对于一组测量结果，习惯上常用术语精密度、正确度和准确度作定性的描述，三者与测量误差都有联系。

如果对某物理量作等精度的多次测量，得到的一组数据彼此接近，就称该组测量的精密度高。如果某组数据的平均值对于真值的偏差较小，称该组测量的正确度高。如果某组数据集中于真值，则称该组测量的准确度高。精密度和准确度都是定性概念，定量描述需用不确定度（见下文）。图 2.1.1 为打靶留下的弹着点分布图，可形象表示精密度高、正确度高和准确度高三种情形。

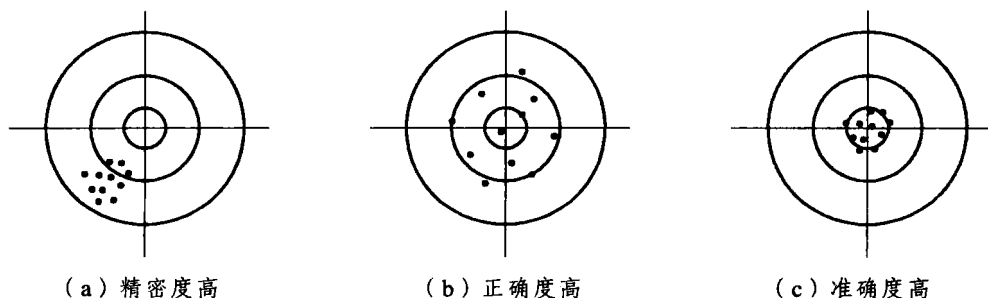


图 2.1.1 精密度、正确度和准确度

另外，我们常用精密度（俗称精度）和准确度衡量仪器的性能。通常，仪器的精密度指

仪器的最小分度，分度越细，精密度越高。有的仪器用灵敏度表示精密度，灵敏度指单位被测量使仪器偏转的格数，它等于精密度的倒数。仪器的准确度指按规定条件使用仪器时，能达到的最小误差。由于制造上的原因，一般仪器准确度达不到最小分度。

2.1.2 误差

对被测量真值的认知过程是一个不断深入、接近的过程。测量和误差是一对矛盾，“误差自始至终存在于一切科学实验和测量的过程之中”。随着科学水平的提高和人的经验、技巧、专门知识的丰富，误差可以被控制得越来越小，但是在绝大多数情况下不能使误差为零。我们把测量值与真值之差定义为（绝对）误差，即

$$\Delta N = N - A \quad (2.1.1)$$

式中 N ——测量值；

A ——真值；

ΔN ——测量误差。

像平面三角形三内角之和恒为 180° 、水三相点温度为 273.16 K 这样的理论值是事先知道的，因此用式（2.1.1）可以计算误差，例如，测得某平面三角块的三个内角值，相加为 $180^\circ 00' 03''$ ，则由式（2.1.1）计算得到该测量值的误差 $\Delta N = 180^\circ 00' 03'' - 180^\circ = 3''$ 。然而，这只限于极少数情况，一般情况是真值为未知量，所以理论上用式（2.1.1）计算误差是行不通的。实际测量中，为了进行某些计算，常采用公认值，或较高准确度仪器的测量值，或多次测量的平均值替代式（2.1.1）中的真值进行误差计算，这些替代值称为约定真值（相对真值）。例如，用一普通压力计测量压力，结果为 98.086 MPa ，而用更准确的压力计测同一压力值为 98.116 MPa ，代入式（2.1.1），则用普通压力计测量的误差为

$$\Delta N = 98.086 - 98.116 = -0.030\text{ (MPa)}$$

相对误差定义为绝对误差 ΔN 与真值 A 之比，实际中，考虑到测量值与真值相差不大，所以常把绝对误差 ΔN 与测量值 N 之比作为相对误差，用百分数表示为

$$E = \frac{\Delta N}{N} \times 100\% \quad (2.1.2)$$

当被测量为两个不同量纲的量时，用相对误差可以比较对这两个量测量的水平高低，而用绝对误差是无法比较的；当被测量量纲相同，相对误差也可用于比较测量的优劣（此处不考虑测量成本等问题）。例如，设某长度的测量值为 $1\,000\text{ mm}$ ，如果绝对误差为 5 mm 。则相对误差为 0.5% ，而对于另一长度，如果测量值为 10 mm ，绝对误差为 1 mm ，则相对误差为 10% ，比较前后两个测量，前者的绝对误差为后者的 5 倍，但前者的相对误差却小于后者，应当认为前者的测量效果优于后者。

对于误差，通过分析它们的起因，并于测量中采取有效措施，能减小或基本消除某些误差成分（误差分量）的影响。对于未被消除的“剩余”误差，则要估计出它们的极限值或特征参量，以便对测量结果的不确定程度加以评定，尽可能完善、准确地表示测量结果。

2.2 系统误差和随机误差

即使是一个很简单的测量，误差的来源也不会是单一的。误差以各种形式出现，按照性质和特点的不同，常把误差划分为三类：随机误差、系统误差和粗大误差，下面分别介绍。

2.2.1 随机误差

在多次等精度测量中，如果测量结果不尽相同，而且以不可预知方式变化，则测量结果存在随机误差。大量实验证明，尽管结果不可预知，测量的随机误差的分布（散布）常常满足一定的统计规律（统计规律指对大量测量数据进行统计分析得到的结果）。

随机误差产生的原因是多方面的，实验者感官感觉以及仪器性能的不稳定可以引起随机误差，无规则的微小环境干扰因素也可以产生随机误差。

1. 算术平均值

统计规律表明，随机误差的分布大多是有“抵偿性”的，也就是说，测量次数足够多时，正误差和负误差的分布基本对称，可以大致相抵消。因此，取多次测量值的算术平均值作为被测量的测量结果，一般说来，比单次测量结果的误差小（极少数情况除外）。设对同一量在相同条件下作 n 次测量，各次测量值为 x_i ，则算术平均值为

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (2.2.1)$$

$\bar{x}$ 也称为最佳估值（统计学语）。按照统计学，最佳估值趋近于真值的条件是，测量次数 $n \rightarrow \infty$ 。当测量次数足够多， $\bar{x}$ 作为真值的最佳估值才具有足够的可信度，因此，增加等精度测量次数可以减小随机误差。

2. 标准偏差

实验还表明，随机误差的分布常呈现“单峰性”，参见图 2.1.2，不同的随机误差分布会有不同的“峰”形状。峰形窄而高，说明随机误差较小；宽而低说明随机误差较大，因此峰的形状体现了测量值分散的程度。在统计学中，测量值的分散程度用标准偏差^① s 表征：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.2.2)$$

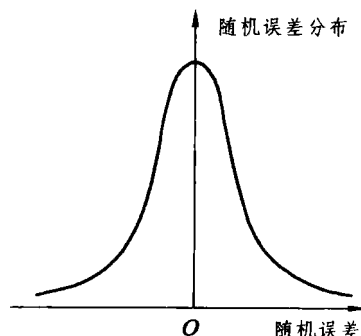


图 2.2.1 随机误差分布

① 参考文献[8] P32-33。

式(2.2.2)称为贝塞尔公式,是 n 次测量值的标准偏差。平均值的标准偏差用下式估算

$$s_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (2.2.3)^{\text{①}}$$

标准偏差是一个统计量,它刻画了随机误差“峰”的特征,标准偏差大表示随机误差分布范围宽,测量值相对分散,测量的精密度低;标准偏差小表示随机误差的分布范围窄,测量值集中,测量精密度高。

注意: 随机误差不是统计量,并不等于标准偏差。

随机误差导致测量值分散意味着测量值具有不确定性,现代计量学采用标准偏差表示测量值的这种不确定性(见下文:测量结果的不确定度评定)。

随机误差的分布规律和处理方法涉及数理统计和计量学理论,详尽内容请查阅有关理论书籍。

2.2.2 系统误差

在对同一被测量的多次等精度测量过程中,保持恒定或以可预知方式变化的误差分量称为系统误差。系统误差的产生有时是由于测量中存在确定的影响因素,导致测量值发生偏移,偏移的大小保持恒定或者按可预知规律变化。例如,用某衡器称 100 g 的砝码,在相同测量条件下,总显示 102 g,多出的 2 g 为系统误差。又如,分光计的刻度盘中心偏离游标盘中心,使读数误差按一定规律变化(参考 5.12 “分光计的调整与使用”)。测量中,如果能够发现系统误差的来源,就可以采取相应措施,使之基本消除或减小。下面简要说明系统误差的来源以及处理方法。

1. 理论或方法误差

当测量所依据的公式是近似式,或者所采用的测量方法不完善时,理论或方法误差就随之产生了。例如,通过测单摆的周期 T 和摆长 l ,代入下面近似公式,计算得到重力加速度 g :

$$T \approx 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

而准确的理论公式应为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g} \left[1 + \frac{1}{5} \left(\frac{r}{l} \right)^2 - \frac{1}{12} \frac{m_0}{m} \left(1 + \frac{r}{l} + \frac{m_0}{m} \right) + \frac{1}{2} \frac{\rho_0}{\rho} + \frac{1}{16} \alpha^2 \right]}$$

式中 r ——摆球半径;

m ——摆球质量;

m_0 ——摆线质量;

^① 参考文献[8].

ρ_0 ——摆球质量密度；

ρ ——空气质量密度；

α ——摆角。

可见，方括号中的后四项是被忽略了的，由此带来的误差为系统误差，简称理论误差。再如，空气折射率以 1 代替；电测量中，由于方法不完善，引起测量装置的绝缘体漏电；引线电阻引起电压降等，均产生系统误差，简称方法误差。

要消除理论或方法误差分量，变更实验方法就可以了。在上面例子中，可选择落球法测重力加速度，消除原有的理论误差。

2. 仪器误差

此种误差是由于仪器或测量工具的不完善，或没有按照规定条件使用仪器造成的。例如，标准电池和标准电阻的标称值与它们本身体现出的量值之间有差异、等臂天平不等臂、电表分度不均匀、螺纹副的螺距不均匀、电子仪器的某些器件性能不能达到设计要求、水银温度计指零时并不对应水的三相点温度等。修正此种误差的方法是更换实验仪器，或隔一定时期就用标准仪器校验使用中的仪器，或采取其他补救措施，例如，用替换法消除不等臂天平的测量误差：先用替代物（如细沙）与待测物平衡，在不改变替代物质量的条件下，取下物体换上砝码并使天平再度达到平衡，则砝码的质量即为物体的质量。

3. 环境误差

此种误差是由于测量条件与实验设计者所要求的标准条件不一致引起的，如测量时环境温度对要求值的偏离，空气浮力对天平质量称量的影响。修正的方法是改善测量条件，使之达到标准条件，或者设法估计出误差，然后在测量结果中予以修正，或用某些方法进行补偿。例如，在热学实验中，环境的吸热或放热对测量结果有影响，而且由于物体升温（或降温）是一个连续变化的动态过程，物体温度达到某值与人在测温装置上确认达到该温度值之间存在时间差，即有滞后现象。在升温条件下与降温条件下各进行一次测量，取其平均值作为测量结果，能使两次测量中的误差相互抵消，减小了环境影响以及测温滞后引起的系统误差。

4. 调整误差

就一般仪器而言，在使用时要求预先调整到规定的使用状态，如果不这样做，就会产生所谓调整误差。例如，为减小零值误差，测量仪表要预先调零、天平使用时要预先调水平、气压表要求铅直放置等。要减小调整误差，实验者需养成良好的工作习惯，严格按操作规程，把仪器调整到规定的使用状态再进行测量。

5. 人身误差

由于人的心理、生理因素，使得感觉灵敏度和即时反应上存在差异。比如用停表计时，有人总是反应早些或迟些；由仪表指针读数时，有人习惯性地偏左或偏右。

总之，引起系统误差的因素多种多样，要减小系统误差需根据具体情况进行分析。系统误差影响的是测量值的正确度，增加测量次数是不能减小系统误差的，只有靠在实验过程中不断总结分析、累积经验，提高实验素质，增强处理各类系统误差问题的能力。

按照处理方式上的不同，系统误差可分为已定系统误差和未定系统误差。