

广东省精品课程“大学物理实验”配套教材
广东省高等学校物理实验教学示范中心建设成果

大学物理实验

主 编 / 陈国杰 李 斌 谢嘉宁
副主编 / 黄义清 张潞英 周有平



科学出版社

广东省精品课程“大学物理实验”配套教材
广东省高等学校物理实验教学示范中心建设成果

大学物理实验

主 编 陈国杰 李 斌 谢嘉宁
副主编 黄义清 张潞英 周有平

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是广东省精品课程“大学物理实验”配套教材和广东省高等学校物理实验教学示范中心建设成果。

本书分4章,共30个实验,包括力学、热学、声学、光学、电学、磁学、光纤通信、光电检测等实验。第1章介绍误差、不确定度和数据处理的基本知识,第2章为基础性实验,第3章为综合与应用性实验,第4章为设计与研究性实验。实验项目实用性和新颖性较强,插图(包括仪器接线图)清晰而美观。叙述浅易,教学方便。

本书可作为本科院校大学物理实验课程教材,也可作为专科院校教师和学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 陈国杰, 李斌, 谢嘉宁主编. —北京: 科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-056523-5

I. ①大… II. ①陈… ②李… ③谢… III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 021573 号

责任编辑: 昌盛 罗吉 / 责任校对: 张凤琴
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 华路天然工作室

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年1月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2018年1月第一次印刷 印张: 16

字数: 323 000

定价: 40.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

我们无时无刻不用到物理知识,例如,电脑上网利用光纤通信、手机通话利用电磁波、无线充电利用电磁能量传输、“墨子号”卫星量子通信利用量子纠缠理论。然而,物理学不是凭空想象的,而是以实验和测量为依据的。大学物理实验是高等学校理工科学生必修的一门重要基础课,它对培养大学生严谨的科学态度和工作作风、提高实验技能、加深对物理知识的理解起着十分重要的作用。其基本任务是让学生用实验的方法去发现问题、分析问题和解决问题,培养学生的实验能力和科学素质。

本书是2009年国防工业出版社出版的、由陈国杰、谢嘉宁、黄义清主编的《大学物理实验》和2016年电子工业出版社出版的、由黄义清、李斌、周有平主编的《大学物理实验教程》的新编版。本书反映了近年来全国大学物理实验的改革趋势和教育部新工科要求,是我校广东省精品课程、广东省精品资源共享课程“大学物理实验”及广东省高等学校物理实验教学示范中心、广东省半导体照明虚拟仿真实验教学示范中心的建设成果。

本书有如下特点:

(1) 根据学生的认知和能力培养规律,建立了由基础性实验、综合与应用性实验、设计与研究性实验组成的结构体系。

(2) 注重实验内容的新颖性、综合性和应用性,删除了一些与中学物理实验重叠或过时的实验项目,改进了分光计的调节及棱镜折射率的测定、用旋光仪测溶液的旋光率等实验,增加了磁耦合无线电能传输实验、多普勒效应与声速测量等一批综合性、设计性实验项目,自主开发了一批反映科研成果的提高型实验。

(3) 实验原理和方法阐述体现问题导向式教学,突出物理思想。

(4) 在介绍实验原理之前,增加了“预备问题”,让学生带着问题去预习实验和做实验,以提高教学质量。

(5) 实验装置尽量采用仪器照片,方便教学;实验插图用专业软件绘制,清晰且美观。

(6) 在掌握经典绘图方法的基础上,倡导采用Excel、MATLAB 和Origin常用软件绘图,培养科研能力。

(7) 增加了10个世界著名物理实验介绍,新增了诺贝尔物理学奖介绍,以激



发学生学习物理的兴趣。

本书共4章，包含30个实验。第1章介绍误差、不确定度和数据处理的基本知识。第2章为基础性实验，包含11个实验，强调基本实验原理、技能和数据处理方法。第3章为综合与应用性实验，包含14个实验，培养学生综合应用能力和综合实验技能。第4章为设计与研究性实验，包含5个实验，培养学生自主设计实验和实验创新能力。

本书由陈国杰、李斌、谢嘉宁任主编，由黄义清、张潞英、周有平任副主编。由于本书编写时间仓促，书中难免出现错漏之处，恳请读者批评指正。

编者

2017年11月

目 录

前言

绪论	1
第1章 误差、不确定度和数据处理的基本知识	6
1.1 测量与误差	6
1.2 测量不确定度和测量结果的报道	12
1.3 有效数字及其运算	19
1.4 常用数据处理方法	23
第2章 基础性实验	31
实验1 示波器的原理与应用	31
实验2 液体黏滞系数的测定	52
实验3 光杠杆法测金属丝的杨氏模量	58
实验4 金属线胀系数的测定	67
实验5 声速测量	72
实验6 用非平衡直流电桥研究热电阻的温度特性	78
实验7 RLC 串联电路的稳态特性	87
实验8 分光计的调节及棱镜折射率的测定	92
实验9 迈克耳孙干涉仪测光波波长	103
实验10 等厚干涉与透镜曲率半径测量	108
实验11 用旋光仪测溶液的旋光率	114
第3章 综合与应用性实验	122
实验12 不同材料导热系数的测定	122
实验13 多普勒效应与声速测量	127
实验14 霍尔效应与磁场的测定	134
实验15 用霍尔传感器测杨氏模量	141
实验16 磁化曲线和磁滞回线测量	147
实验17 磁耦合无线电能传输实验	155
实验18 大功率白光LED特性测量	167
实验19 太阳能电池特性的测量	172



实验20	用非线性电路研究混沌现象	177
实验21	光调制法测量光速	185
实验22	双光栅测量微弱振动位移量	193
实验23	偏振光的观测与研究	200
实验24	用分光计测光栅常数及角色散率	208
实验25	激光全息照相	213
第4章	设计与研究性实验	222
实验26	电阻测量的设计	222
实验27	电表的设计与校准	223
实验28	用单摆测量重力加速度	225
实验29	远视眼镜片焦距测量	226
实验30	磁铁穿越线圈感应电势极大值的测量	226
附录		228
附录A	常用物理常表	228
附录B	诺贝尔物理学奖	238
附录C	世界十大最美物理实验	243

绪 论

我们无时无刻不用到物理知识,例如,电脑上网利用光纤通信、手机通话利用电磁波、汽车无线充电的电磁能量传输、“墨子号”卫星量子通信的量子纠缠理论。因此,物理学是一门重要的基础科学,是现代技术的支柱。然而,物理学不是凭空想象的,而是以实验和测量结果为依据的,许多理论和规律都是以实验的新发现为依据被提出来而又被进一步实验所验证的,因此物理实验对物理学概念的形成、定律的建立和发展起着十分重要的作用。

1. 物理实验的目的与要求

高等学校物理实验课程的目的是通过实验课的预习、仪器使用、实验操作、现象观察、数据记录及处理、实验结果分析等环节,使学生掌握实验的基本知识和基本方法。通过实验使学生感知物理现象及其演变过程,加深对物理知识的理解,在实验技能技巧等方面受到系统而严格的训练;实验中出现的物理现象、异常结果和仪器故障有利于培养学生提出问题、分析问题和解决问题的能力;实验课严格的要求和规范的管理可以培养学生严谨的科学态度和工作作风。物理实验是学生进入大学后最早接触的实验课程,因此对学生专业素质的培养起着重要的作用,也将为学习后续课程打下良好的基础。

通过本课程的学习,应达到如下要求:

- (1) 掌握实验的设计思想和实验方法:如何将不可测量转为可测量,如何提高测量精度;
- (2) 了解常用实验仪器的结构、工作原理,能熟练使用仪器,操作规范,读数正确;
- (3) 掌握误差的基本理论及实验结果的评价方法;
- (4) 掌握实验数据表格的设计、数据记录和处理方法(如作图法、逐差法、回归法等);
- (5) 具备科学研究的初步能力和科学素养。

2. 物理实验的教学环节

物理实验的教学包括课前预习、实验操作和实验报告三个环节。



1) 课前预习

预习是实验的基础,不预习做不好实验,边预习边实验也不科学.学生要发挥自己的主动性,不能依赖和满足于教师的一般性介绍.该环节具体要求如下:

(1) 认真阅读教材,了解实验目的和要求;理解实验原理、实验方法和实验步骤,完成预习思考题.

(2) 到实验室认识仪器,阅读仪器使用说明书,了解仪器的结构、工作原理、主要性能、使用方法和操作注意事项;练习仪器的调整、量程的选择、读数方法等.

(3) 写出预习报告.预习报告应包括:① 实验名称;② 原理摘要(包括原理扼要说明、主要公式、电路图、光路图,不要照抄实验指导书);③ 主要仪器设备;④ 注意事项摘要;⑤ 列出数据记录表格,其中,要标明实验条件和实验参数,以及各物理量的符号、单位和数量级;⑥ 回答预习思考题.

2) 实验操作

实验操作环节是实验的主体,要求学生在教师指导下独立完成实验操作的全过程.该环节要求如下:

(1) 对照实验图正确连接实验仪或实验装置,仪器摆设要合理,便于检查、操作和读数.仔细检查无误后才开始做实验.

(2) 按仪器操作规程调整仪器,合理选择量程.

(3) 细心操作,注意观察实验现象,认真记录测量数据,正确表示测量值的有效数字和单位.要注意思考分析,看是否有异常现象或数据,如有应及时找出原因并加以解决.

(4) 记录实验条件和仪器的主要参数、型号、编号,以及实验组别.如实记录实验中遇到的问题、故障及可疑现象.

(5) 要科学分析实验数据和结果.实验数据与标准数据有所差别,不能笼统地说实验结果不好.因为任何实验结果都是有误差的,问题是误差有多大,是否合理.如果误差在允许范围内,那就正常.如果误差太大,就要分析产生误差的原因,首先要检查自己操作和读数是否正确,实验条件是否满足;其次检查仪器和装置是否工作正常.千万不要拼凑数据.

3) 实验报告

实验报告是实验工作的总结,是实验课的重要组成部分.实验报告一般包括以下几个部分:

(1) 实验名称.

(2) 实验原理摘要.扼要地叙述实验的物理思想和实验方法,计算公式及成立条件,画出实验原理图.

(3) 数据记录及处理.合理设计数据表格,填入有关原始数据,进行数据整理



和计算, 绘制图线, 计算及分析误差, 求出实验结果, 要特别注意有效数字和单位的正确表达。

(4) 讨论. 讨论是实验的升华, 它包括实验是否达到实验目的和要求, 实验中观察到哪些物理现象, 怎样解释这些现象, 实验误差的主要原因及对实验结果的影响如何等。

(5) 体会. 包括通过实验取得了哪些收获, 对实验过程及结果的评价如何, 对实验方法或实验装置有哪些改进建议等。

实验课是学生在教师指导下充分发挥能动性的学习过程, 因此必须强调学习的自觉性和主动性, 要将教师的要求变成自己的追求. 要做实验的主人, 实验前要认真预习, 思考如何做实验, 期待什么结果以及应该注意哪些问题. 实验后要对实验进行总结和评价, 在整个实验过程中一定要既动手又动脑, 这样才能提高实验能力, 培养科学素质。

3. 用 MATLAB、Excel、Origin 等软件处理实验数据

数据处理是物理实验的组成部分和重要环节. 在基础物理实验中, 通常采用手工方法(如列表法、作图法、逐差法等)来处理数据和误差, 这对于掌握误差理论和培养严谨的科学精神是必要的. 由于物理实验的数据多、计算公式多, 在设计性和研究性物理实验中, 用手工方法来处理实验数据不仅烦琐、效率低, 而且容易引入人为误差, 难以准确绘制流畅、美观的图线。

MATLAB 是 20 世纪 80 年代美国 MathWorks 公司推出的一种工程计算语言, 集矩阵运算、数值分析、信号处理和图形显示于一体, 其丰富的库函数和各种工具箱使之简单易学, 已成为许多高等学校本科生和研究生必须掌握的工具软件. 在设计性和研究性物理实验中, 用 MATLAB 软件处理实验数据简单、快捷、美观, 是值得鼓励和有益的. 有关 MATLAB 的教材可在各高校图书馆借阅, MATLAB 软件可在网站下载。

例 1 伏安法测电阻的实验数据如表 1 所示, 用 MATLAB 绘制其伏安特性曲线, 并计算其阻值。

表 1 实验数据

U/V	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
I/mA	0.00	0.49	1.01	1.49	2.02	2.49	3.11

MATLAB 命令如下:

```
>>U=[0.00,1.00,2.00,3.00,4.00,5.00,6.00];  
>>I=[0.00,0.49,1.01,1.49,2.02,2.505,3.11];  
>>plot(U,I,'ro');
```



```
>>hold on;
```

```
>>plot(U,I); xlabel('U(V)'); ylabel('I(mA)');
```

用 MATLAB 绘制的伏安特性曲线如图 1 所示. 该曲线是一条直线, 由斜率求出阻值为 $1.98 \text{ k}\Omega$.

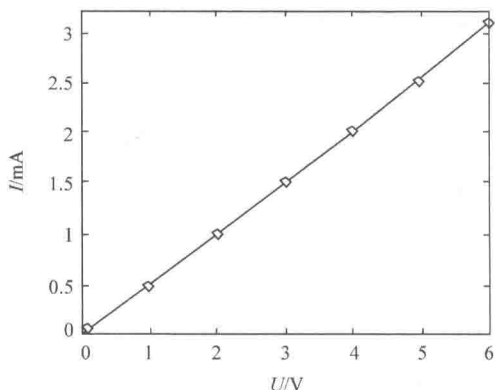


图 1 用 MATLAB 绘制的电阻伏安特性曲线

例 2 金属电阻 $R_t=R_0(1+\alpha t)$, R_0 是 0°C 时的电阻, α 是金属电阻温度系数. 铜丝电阻随温度变化的实验数据如表 2 所示, 用 Excel 绘制拟合直线, 计算铜丝的电阻温度系数 α .

表 2 实验数据

$t/^\circ\text{C}$	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0
$R_t/\times 10^{-1}\Omega$	6.563	6.675	6.792	6.898	7.006	7.115	7.236	7.352	7.461	7.579

在创建的 Microsoft Excel 工作表中输入表 2 数据. 选择数据, 单击“图表向导”按钮, 选择“XY 散点图”, 子图表类型选择“散点图”, 点“下一步”, 再点“下一步”, 在“图表选项”下, “标题”设置图名、XY 轴符号和单位, “网格线”点 X、Y 轴主网格线, “图例”选不显示, 单击“完成”, 出现散点数据图.

鼠标右键单击 X 或 Y 轴“坐标轴格式”, 在“图案”下的主、次刻度线类型选择“内部”, 在“刻度”下设置刻度大、小范围, 设置主、次刻度间隔数值; 右键单击图中 X 或 Y 主网线, 设置主网线为虚线. 右键单击图中散点, 选择“添加趋势线”, 在“类型”下选择“线性”, 在“选项”下选择“显示公式”和“显示 R 平方值”. 显示直线方程的拟合直线图如图 2 所示.

由图 2 得直线斜率 $a = 2.251 \times 10^{-3} \Omega/^\circ\text{C}$ 、截距 $b = R_0 = 5.7735 \times 10^{-1} \Omega$, 测得温度系数 $\alpha = a/R_0 = 3.899 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 查附表 A-10 标准值 $\alpha_{\text{标}} = 3.93 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 相对误



差 $E_\alpha = 0.8\%$; 相关系数 $R = 0.9999$.

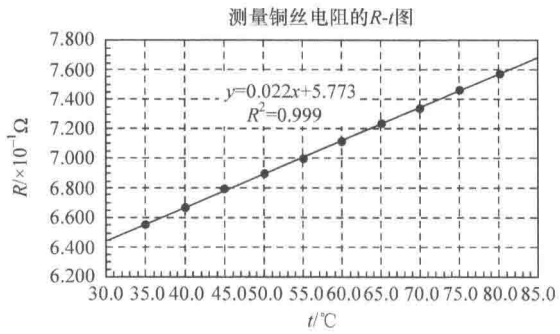


图 2 用 Excel 绘制的铜丝电阻 R - t 曲线

第 1 章 误差、不确定度和数据处理的基本知识

1.1 测量与误差

1.1.1 测量及测量误差

1. 测量

测量就是将被测物理量与一个被选作标准的同类物理量进行比较, 得出被测量是该标准量的多少倍的实验过程. 广义地说, 是以确定被测对象量值为目的的全部操作.

测量有直接测量和间接测量. 直接测量是指被测量可以用测量仪器(或量具)直接读出测量值的测量. 如用米尺测量长度、用温度计测量温度、用电压表测量电压、用秒表测量时间等都属于直接测量. 间接测量是指被测量不能用直接测量的方法得到, 而由直接测量值按一定的数学公式计算得到, 这种测量称为间接测量. 例如, 测量铜柱密度 ρ 时, 先用尺直接测量出它的直径 d 和高度 h , 用天平称出它的质量 m , 然后通过公式 $\rho = 4m/\pi d^2 h$ 计算出铜柱的密度 ρ . ρ 的测量就属于间接测量.

测量是物理实验的基础. 但物理实验不是单纯的测量, 它包含“理论→实验方法→仪器选择→测量→数据处理→结果分析”等环节. 物理实验的教学目的之一就是让学生掌握某些物理量的测量方法, 并且能进一步独立设计一些测量方法以完成某些简单的测量任务.

物理实验有如下几种常见的最基本的测量方法.

1) 比较测量法

比较法就是将被测量与标准量进行比较而得到测量值的方法, 它是最基本、最常用和最重要的测量方法之一. 比较法有直接比较法和间接比较法.

2) 放大测量法

由于被测量过小, 以至于无法被实验者或仪器直接感受和反应, 此时可先通过一些途径将被测量放大, 然后再进行测量. 放大测量可提高微小量的测量精度.

常用的放大法有以下4种。

(1) 累积放大法——把相等的微小量累积后进行测量，累积值除以累积倍数得到微小量。如单摆周期、等厚干涉相邻干涉条纹的累积测量等。

(2) 机械放大法——利用机械部件之间的几何关系，将物理量在测量过程中加以放大。如游标卡尺、螺旋测微计、机械杠杆、指针式仪表中的指针等就利用了机械放大原理。

(3) 电学放大法——通过电子线路将微弱的电信号进行放大，普遍应用于各种电子仪器、仪表中。

(4) 光学放大法——利用几何光学原理放大待测量的方法。一般的光学放大法有两种，一种是被测量通过光学仪器形成放大的像，以增加实现的视角，便于观察测量，而实际测量的还是未被放大的量，例如常用的读数显微镜、测微目镜等；另一种是利用光学放大装置将待测量放大后进行测量，如光杠杆装置(杨氏模量测量、灵敏电流计和冲击电流计的读数机构就应用了光杠杆装置)。

3) 转换测量法

转换测量法是根据物理量之间的各种效应和函数关系，利用变换原理将不能或不易测量的待测物理量转换成能测或易测的物理量进行测量，然后再求待测物理量。

转换测量法有以下2种。

(1) 参量转换法——利用各种参量间的变换及其变化的相互关系，把不可测的量转换成可测的量。例如，拉伸法测量钢丝的杨氏模量 E ，根据应力 F/S 和应变 $\Delta L/L$ 呈线性变换的规律 $F/S = E(\Delta L/L)$ ，将杨氏模量 E 的测量转换为对应力 F/S 和应变 $\Delta L/L$ 的测量。

(2) 能量转换法——是指某种形式的物理量，通过换能器件(传感器)，变成另一种形式物理量的测量方法。

按换能器件(传感器)的性能不同，有热电转换、压电转换、光电转换、磁电转换等几种转换方法。通过选择适当的换能器可以把诸如位移、速度、加速度、压强、温度、光强等非电物理量转换为电量测量，此即为非电量的电测法。

4) 模拟法

模拟法是以相似性原理为基础，对难以直接进行测量的对象，用对模型的测量代替对原型的测量。如用稳恒电流场模拟静电场。模拟法有几何模拟法、物理模拟法、数学模拟法、计算机模拟法。

5) 干涉法

干涉法利用相干波(光波、声波)产生干涉来测量有关的物理量，如光栅衍射测量波长、劈尖干涉测量微小长度、驻波法测量声速等。



2. 测量误差

由测量所得到的被测量的值, 叫做测量结果. 测量误差就是被测量的测量结果与其真值的差值. 测量误差是由于测量原理近似性、测量方法不完善、测量仪器准确度有限、测量环境和测量人员感觉器官的限制、被测对象本身的涨落及各方面的偶然因素影响所造成的. 若测量结果为 x , 真值为 X , 则

$$\Delta = x - X \quad (1)$$

称为绝对误差, 绝对误差与真值之比

$$E = \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (\text{用百分数表示}) \quad (2)$$

称为相对误差.

测量中, 误差可以被控制到很小, 但不能使误差为零. 也就是说, 测量结果都有误差, 误差自始至终存在于一切测量过程中, 这就是误差公理.

这里需要指出, 一个量的真值是客观存在的, 它只有通过完美无缺的测量才能获得, 但这是做不到的, 所以它只是一个理想的概念, 在实际测量中, 只能根据测量数据估算它的最佳估计值(近真值), 并以测量不确定度来表征其所处的范围. 由于真值不能确定, 所以误差也无法准确得到或确切获知. 实际应用中, 必要时可用公认值、理论值、高精度仪器校准的校准值、最佳估计值等作为约定真值.

1.1.2 测量误差分类及其处理

误差按其产生的原因和性质主要分为系统误差、随机误差两大类.

1. 系统误差

相同条件下多次测量同一被测量, 其误差的大小和符号保持不变或按某个确定规律变化, 这类误差称为系统误差.

系统误差产生的原因很多, 按其产生原因, 系统误差有仪器误差(仪器装置本身的固有缺陷或没有按规定条件使用而引起的)、理论误差(实验测量所依据理论的近似性或测量方法不完善引起的)、环境误差(实验环境条件不符合标准引起的)等.

系统误差的特性是具有确定性. 就对其确定性的掌握程度, 系统误差可分为已定系统误差(误差的变化规律已确知)和未定系统误差(误差的变化规律未能确定或无法确定).

系统误差影响测量结果的准确度, 因此消除和估计系统误差对于提高测量准确度就十分重要. 对系统误差的处理, 一般用如下方法消除或减小.

(1) 消除系统误差产生的根源.

例如, 实验时对仪器进行检验和校准, 按规程正确使用仪器, 实验原理和测

量方法要正确, 尽量减少和消除人为因素等.

(2) 用修正方法修正测量结果.

对已定系统误差, 根据它的变化规律, 找出修正值或修正公式对测量结果进行修正.

(3) 改进测量方法来消除或减小系统误差.

对有些未定系统误差可采用改进测量方法(如替代法、交换法、异号法、补偿法、半周期偶数测量法)来消除.

余下未能消除的系统误差可以用非统计学方法进行估算, 作为不确定度的 B 类分量的评定.

2. 随机误差

相同条件下多次测量同一被测量, 其误差的大小和符号以不可预知的随机方式变化, 这类误差称为随机误差.

产生随机误差的原因是那些无法控制的不确定的随机因素. 如观察者视觉、听觉的分辨能力及外界环境因素的扰动等.

随机误差的主要特性是服从统计规律.

1) 随机误差的正态分布

实验表明, 大多数随机误差都服从或近似服从正态分布. 若以随机误差值为横坐标, 以某一随机误差出现的概率密度为纵坐标, 正态分布的分布曲线如图 3 所示. 从正态分布图线可知, 随机误差有如下的统计分布特性:

(1) 单峰性: 绝对值小的误差出现的概率大, 绝对值大的误差出现的概率小.

(2) 有界性: 绝对值很大的正负误差出现的概率趋于零.

(3) 对称性: 绝对值相等的正负误差出现的概率相等.

(4) 抵偿性: 随机误差的算术平均值随测量次数增加而减小, 最终趋近于零. 其中第四个特性最具有本质性, 凡具有抵偿性的误差, 原则上均可按随机误差处理.

2) 标准误差 σ 的统计学意义

德国数学家高斯于 1895 年给出了正态分布的数学表达式(正态分布概率密度函数)

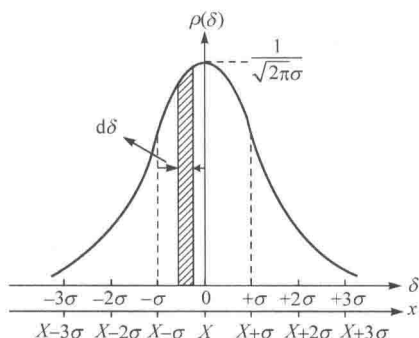


图 3 正态分布



$$\rho(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)^2} \quad (-\infty < x < +\infty) \quad (3)$$

式中, $\delta = x - X$ 为每次测量的随机误差, X 为无限多次测量的总体平均值, 在消除了系统误差后它就被测量的真值; $\rho(\delta)$ 是随机误差 δ 出现的概率密度; σ 是表征测量值 x 离散程度的参数, 称为标准误差, 它的数学计算式是

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2} \quad (4)$$

式中, n 为测量次数.

标准误差 σ 有如下两个统计学意义.

(1) σ 反映了测量值的离散程度.

在一定测量条件下对同一物理量进行多次测量, 随机误差的统计分布是唯一确定的, 即 σ 有一个确定值. σ 越小, 离散度就越小, 测量精密度越高.

(2) σ 有明确的概率意义.

测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时, 对被测量的任一次测量的测量值落在 $[X - \sigma, X + \sigma]$ 区间之内的可能性为 68.3%, 落在 $[X - 2\sigma, X + 2\sigma]$ 区间之内的可能性为 95.4%, 落在 $[X - 3\sigma, X + 3\sigma]$ 区间之内的可能性为 99.7%. 换句话说, 任意一次测量的随机误差小于 $\pm\sigma$ 的可能性是 68.3%, 小于 $\pm 2\sigma$ 的可能性是 95.4%, 小于 $\pm 3\sigma$ 的可能性是 99.7%. 我们把这种测量数据落在给定范围内的概率称为**置信概率**, 或者叫置信度、置信水平, 相应的范围称为**置信区间**.

随机误差小于 $\pm 3\sigma$ 的可能性是 99.7% 给了我们一个启示, 对于有限次测量, 随机误差大于 $\pm 3\sigma$ 的这种可能性是微乎其微的, 如果出现这种情况, 就应引起注意, 这时考虑是否测量失误, 该测量值是否为“坏值”, 若是则应予以剔除. 所以把 $\Delta = 3\sigma$ 称为随机误差的**极限误差**.

3) 有限次测量的测量结果离散性

从上面的分析可见, 在消除了系统误差的情况下, 无限多次测量的测量值是以一定的概率出现在真值附近的某一区间内的, 其测量结果的离散性用 σ 来表示. 那么对有限次测量, 测量结果的离散性又如何表示?

有限次测量的测量结果的离散性, 用贝塞尔(Bessel)公式计算的实验标准偏差(简称标准偏差) S 来表示.

(1) 有限次测量中任意一次测量结果的标准偏差.

通过等精度的重复性测量而得到的一组测量数据称为测量列. 所谓等精度测量, 就是在同一测量条件下的多次测量. 若重复测量次数为 n , 得到包含 n 个数据的测量列 x_1, x_2, \dots, x_n , 则该测量列中任意一次测量结果的标准偏差为