

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

# 大学物理实验

金清理 主编

 高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

# 大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

金清理 主编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS · BEIJING

## 内容简介

本书是依照《理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010年版)》，在总结近年来温州大学物理实验教学改革以及实验室建设成果的基础上编写而成的。本书分为实验误差理论、基础实验、综合实验、专题实验四个部分，涵盖了近40项实验。全书系统地介绍了测量误差、不确定度以及数据处理的基础知识。为方便学生学习，本书配套的电子教案和课件已上传到温州大学物理实验教学中心网站(<http://phylab.wzu.edu.cn>)的教学资源系统中。

本书可作为高等学校理工科各专业的大学物理实验课程的教材，也可供农医等其他专业的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验 / 金清理主编. --北京: 高等教育出版社, 2012.2

ISBN 978-7-04-034011-2

I. ①大… II. ①金… III. ①物理学—实验—高等学校—教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第272944号

策划编辑	程福平	责任编辑	王 硕	封面设计	于文燕	版式设计	马敬茹
插图绘制	尹 莉	责任校对	殷 然	责任印制	韩 刚		

---

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 100120  
印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司  
开 本 787mm×960mm 1/16  
印 张 22.75  
字 数 410千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版 次 2012年2月第1版  
印 次 2012年2月第1次印刷  
定 价 30.90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 34011-00

# 前 言

大学物理实验是理、工科等各专业学生必修的一门基础实验课程。根据物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》，为适应 21 世纪科技发展的需求，培养高素质、能力型的多层次人才，我们在实验内容的选择上既保留了物理学的基础内容，又适当增添了部分近代物理和研究性的专题内容。这样既保证了基本训练，又提高了大学物理实验综合性以及与现代科技发展的衔接性，从而提高了学生学习物理实验的兴趣。同时，为了实现不同学科和专业的具体培养目标，除了少数基本训练的实验外，使学生能自主地按其专业、个人兴趣和自由支配的时间来选做实验，我们制定了全体学生网上自由选课制度。

本书编写的指导思想是以学生为本，有利于学生自学和进行研究性的学习与实践，有利于强化实验课的三基(基础知识、基本技能和基本方法)训练。本书内容由实验测量误差及数据处理基础知识、基础实验、综合实验和专题实验等模块组成。书中对每个实验的原理都作了简要的论述，并介绍了一些背景材料，以利于学生对实验的构思与来源有一个简单的了解。对实验方法和仪器作了简明必要的介绍。同时，本书相关背景资料、配套课件、教学管理等信息实现了网络化，学生在进实验室前就可以在实验中心的网站上查到相关资料并进行预习，在进实验室后也可以从每台仪器附有的说明书上查阅相关的信息资料。这样，不仅方便了学生的课前预习，更重要的是，让学生学会阅读说明书来进行仪器操作，培养其独立从事研究的能力。

本实验教材是作者基于多年来物理实验课程建设的实践编写而成的，其凝聚着许多教师和实验技术人员的智慧和劳动。我们感谢几十年来在物理实验教学中做出贡献的所有老师和实验技术人员，也感谢王振国老师在本书编辑过程中绘制了部分精美的插图。

物理实验教学改革是一项长期而复杂的工作，我们虽然采用了网络、书籍、仪器说明书和全体学生自主选择实验等措施来扩展实验室的空间，但由于正处于摸索阶段，不足之处在所难免。书中的缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 10 月于温州大学

# 目 录

绪论	1
<b>1 实验数据的处理与分析</b>	<b>5</b>
1.1 测量误差的基本知识	7
1.2 不确定度的基本概念	20
1.3 直接测量结果与不确定度的估算	21
1.4 间接测量结果与不确定度的估算	26
1.5 有效数字及其运算规则	29
1.6 实验数据处理的一般方法	34
<b>2 基础实验</b>	<b>43</b>
实验一 制流电路与分压电路	45
实验二 薄透镜焦距的测量	51
实验三 气垫导轨实验	58
实验四 拉伸法测弹性模量	68
实验五 测量金属杆的线膨胀系数	75
实验六 水的表面张力系数的测量	81
实验七 液体黏度的测量	88
实验八 空气比热容比的测量	93
实验九 硅光电池特性的研究	99
实验十 惠斯通电桥测量电阻	108
实验十一 电磁感应法测交变磁场	115
实验十二 示波器的原理与使用	121
实验十三 刚体转动惯量的测量	133
实验十四 牛顿环测量透镜的曲率半径	144
实验十五 耦合摆的研究	149
实验十六 分光计的调节与棱镜角的测量	155
实验十七 铁磁物质磁化特性的研究	161
实验十八 电表的改装与校准	168
实验十九 声速的测量	174

<b>3 综合实验</b> .....	183
实验二十 光栅衍射 .....	185
实验二十一 集成霍尔传感器测螺线管磁场 .....	188
实验二十二 迈克耳孙干涉仪的调整和使用 .....	194
实验二十三 多普勒效应综合实验 .....	203
实验二十四 热敏电阻特性的研究 .....	209
实验二十五 密立根油滴实验 .....	215
实验二十六 弗兰克-赫兹实验 .....	223
实验二十七 RLC 串并联谐振电路 .....	229
实验二十八 用非线性电路研究混沌现象 .....	233
实验二十九 音频信号的光纤传输技术 .....	243
实验三十 受迫振动的研究 .....	253
实验三十一 超声光栅 .....	260
<b>4 专题实验</b> .....	267
实验三十二 压力传感器和 CCD 的使用 .....	269
实验三十三 电信号的傅里叶分析 .....	280
实验三十四 真空的获得与镀膜 .....	291
实验三十五 法拉第效应 .....	306
实验三十六 超声的应用 .....	314
实验三十七 光电信号自动测量实验的设计 .....	326
实验三十八 新型功能材料的制备与热学性质研究 .....	337
实验三十九 半导体泵浦全固态激光原理 .....	349
<b>参考文献</b> .....	357

# 绪 论

## 一、大学物理实验课程的地位和作用

物理学是自然科学中最重要、最活跃的基础学科之一。物理学理论和实验的发展推动着各学科的发展,诱发出许多交叉学科和高新技术领域。物理实验的思想、方法及技术和装置常常是自然科学研究和工程技术发展的生长点。

物理实验课是对高等学校理工科各专业的学生进行科学实验基本训练的基础课程。它能使学生得到系统的实验方法和实验技能的训练,了解科学实验的主要过程和基本方法,为实验能力和综合素质的培养与发展奠定基础。同时它的思想和方法、实验设计和测量方法以及分析问题与解决问题的方法也将对学生的智力发展,特别是创新意识的开发大有裨益。整个教学活动的进行也将有助于学生的作风、态度及品德的培养和素质的提高。

## 二、大学物理实验课程的任务

本课程重点是对学生进行物理实验理论、物理实验方法和实验技能进行系统的基本训练。这种训练,既为学生学习后继课程打下坚实和广泛的基础,更为学生今后参加科学研究、技术开发和实际应用储备了长期的潜在能力和普通能力。

大学物理实验课程的具体任务:

(1) 通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,加深对基本物理概念和基本物理定律的认识和理解。

(2) 培养和提高学生科学实验的基本素质,确立正确的科学思想和科学方法。通过大学物理实验课的教学,使学生掌握误差分析、数据处理的基本理论和方法;学会常用仪器的调整和使用;了解常用的实验方法;能够对常用物理量进行一般测量;具有初步的实验设计能力。

(3) 培养和提高学生的创新思维、创新意识、创新能力。通过物理实验引导学生深入观察实验现象、建立合理的模型、定量研究物理规律;能够应用物理学理论对实验现象进行初步的分析判断,逐步学会提出问题、分析问题、解决问题的方法和激发学生创造性思维;能够完成符合规范要求的设计性内容的实验,进行简单的具有研究性或创意性内容的实验。

(4) 培养和提高学生的科学实验素养。要求学生具有理论联系实际和实事求是

求是的科学作风,严肃认真的工作态度,主动研究的探索精神,遵守纪律、团结协作和爱护公共财物的优良品德.

以上四项任务是不能由物理学理论课程代替完成的.

应当指出,对于理、工科各专业的人才来说,只有既具备较为深广的理论知识又具备足够的现代科学实验能力,才能适应科学技术飞速发展的需要,从而担负起建设祖国的重任.

### 三、大学物理实验课程的基本教学程序

物理实验是学生在教师指导下独立进行实验的一种实践活动,无论实验内容的要求或研究的对象如何不同,无论采用什么方法,其基本程序大致相同,一般分为以下三个环节.

#### 1. 课前预习

预习是指学生进入实验室做实验之前的准备工作.预习可通过认真阅读实验教材或到实验室结合仪器进行.预习内容包括实验名称、实验目的、实验原理(实验依据、实验方法、主要计算公式及公式中各量的意义、电路图、光路图和实验装置,有些实验还要自拟实验方案、设计实验线路、选择仪器等)、实验的关键步骤和主要注意事项、数据表格、预习思考题等.重点是在认真思考的基础上对实验原理和方法、操作步骤和关键进行归纳和整理.通过预习以便掌握实验关键,控制实验过程,及时、迅速、准确地测得实验数据.

预习的好坏至关重要,它不仅影响实验者能否主动、顺利地进行实验,而且会在很大程度上决定接受训练的质量和收获的大小.

在预习的基础上写出预习实验报告.预习报告的内容为

- (1) 目的要求——说明所做实验的目的和学习要求.
- (2) 实验原理——写出本实验中获得实验结果所依据的主要公式,并说明公式中各物理量的意义、单位和公式适用的条件及测量方法.必要时应画出所需的原理图(如电路图、光路图或装置系统示意图等).
- (3) 所用仪器——列出本实验所用的主要仪器(应对其结构、原理及性能有初步的了解).
- (4) 数据表格——画好记录各项实验数据的表格(应了解相应的实验步骤).

预习报告在上课前交教师审阅,经教师课堂提问、考查认可后方可做实验.不写预习报告者不能做实验.

#### 2. 课堂实验

学生应按时进入实验室,交实验预习报告,按分组就位;认真听取教师对本实验的要求、重点、难点和注意事项的讲解;对照仪器,仔细阅读有关仪器的使用



说明和操作注意事项;熟悉实验条件,进一步明确实验的具体要求。然后检查仪器、材料是否完好、齐备,筹划仪器的布局,再根据实验要求正确地将有关仪器组成所需的测试系统。经检查确保无误(需经教师认可),便可按步骤进行实验操作。

做实验时,要正确地调试仪器,仔细观察和分析现象,控制过程,测量有关物理量。要根据仪器的精度和实验条件正确运用有效数字,及时如实地记录测量数据,防止差错或遗漏。

测量数据时必须十分认真、仔细,一要保证数据的真实性,二要保证应有的精确度。当对测量结果不满意时,应分析原因,改善条件,重新测量。不允许无根据地修改数据。测量结果的优劣将影响实验的成败。

实验完成,应将所测得的数据交给教师审阅。经教师认可后,再细心收拾仪器,保持整洁,保证不留事故隐患,然后才能离开实验室。

### 3. 写实验报告

实验报告是对实验过程及其结果的全面总结,要用简明的形式将实验结果完整而又真实地表达出来。实验报告要用统一规格的纸张书写(可加附页),而且必须各自独立地完成。要做到文字通顺、表述明确、字迹端正、图表规范、结果正确和讨论认真。好的实验报告应作为研究资料保存。

完整的实验报告内容通常包括下列几个部分:实验名称、实验目的、仪器设备(或实验条件)、实验原理、实验步骤、数据表格、数据处理与结果表述、误差分析及问题讨论。

## 四、关于教材和实验安排

物理实验课包括三种类型的实验,它们是基础类实验、综合类实验、专题类实验。基础类实验为学生获得最初步的实验基本知识、方法和技能训练提供平台;综合类实验训练学生综合运用所学理论知识、实验技能和各类实验器材完成综合性较强的物理实验,为物理学在现代工程应用中提供若干基础性的知识和技术提供平台;专题类实验培养学生具有初步探索研究实验的能力,为学生提供灵活应用已学过的实验知识独立解决实验中的具体问题、个性发展与创新意识的训练提供平台。

## 五、成绩考核和评定

### 1. 平时成绩

平时每项实验内容按预习和态度占20%,即检查预习实验报告和课堂提问检查实验预习情况,考查学生课堂纪律,实验态度,仪器整理和保持卫生整洁等方面给予评定成绩;实验操作技能占40%,即考查学生实验操作技能熟练程度;实验报告占40%,即学生完成每项实验内容必须提交实验报告,根据实验报告

内容的完整性,实验数据的合理性,实验结果的准确性及相关问题的分析讨论等情况给予评定。

## 2. 考查成绩

实验考查按笔试或实验操作两种方法进行,根据实际情况任课教师选择其中一种进行考查,成绩满分为 100 分。

## 3. 总成绩评定

每个学生按平时成绩 80%,考查成绩 20%评定总成绩。

## 六、学生实验制度

为了培养学生良好的实验素质和严谨的科学态度,保证实验顺利进行和提高教学质量,特制定以下实验制度:

(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,经教师检查合格后方可进行实验。

(2) 上课时不准迟到,不准无故缺课。无正当理由迟到者按迟到的时间长短酌情扣分;迟到 15 分钟者教师有权取消其本次实验资格;无故缺席者本次实验记零分。

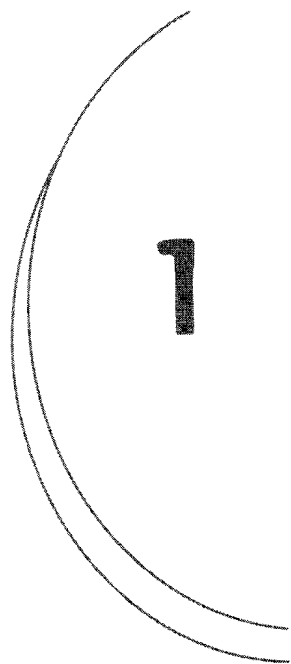
(3) 必须严格按照实验要求和仪器操作规程,积极认真地进行实验,并作好相关实验记录。

(4) 爱护仪器设备,不得随意从他组乱拿仪器,不准擅自拆卸仪器;仪器发生故障应立即报告,不得自行处理;仪器如有损坏,照章赔偿。

(5) 室内严禁吸烟、吐痰和大声喧哗。

(6) 做完实验,学生应将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐,经教师审查测量数据并签字后,方可离开实验室。

(7) 实验报告应在实验后一周内呈交实验室。



# 实验数据的处理与分析



物理实验离不开物理量的测量。由于测量仪器、测量方法、测量条件、测量人员等因素的限制,对物理量的测量不可能是无限精确的,即测量中的误差是不可避免的。没有测量误差的基本知识,就不可能获得正确的测量值;不会计算测量结果的不确定度就不能正确表达和评价测量结果;不会处理数据或处理数据方法不当,就得不到正确的实验结果。因此,测量误差、不确定度与数据处理的基本知识在整个实验中占有非常重要的地位。本章从实验教学的角度出发,主要介绍误差和不确定度的基本概念、测量结果不确定度的计算、实验数据处理和实验结果表达等方面的基本知识。这些知识不仅在每个物理实验中要做到,而且对于今后从事科学研究也是必须了解和掌握的。由于这部分内容涉及面较广,深入的讨论需要有丰富的实践经验和较多的数学知识,因此不能指望通过一两次学习就完全掌握。我们要求实验者先对提到的问题有初步的了解,以后结合每一个具体实验项目仔细阅读有关内容,通过实际运用逐步加以解决。

误差分析、不确定度计算以及数据处理贯穿于实验的全过程,它表现在实验前的实验设计与论证,实验进行过程中的控制与监视,实验结束后的数据处理和结果分析。通过本章的学习和今后各个实验中的运用,要求达到:

- (1) 建立误差与不确定度的概念,正确估算不确定度,懂得如何正确完整地表示实验测量结果。
- (2) 掌握有效数字的概念及运算规则,了解有效数字与不确定度的关系。
- (3) 了解系统误差对测量结果的影响,学习发现某些系统误差、减小系统误差及削弱其影响的方法。
- (4) 掌握列表法、作图法、逐差法和线性拟合回归法等常用的数学处理方法。

## 1.1 测量误差的基本知识

### 一、测量的基本概念

物理实验将自然界物质运动中的物理形态按人们的意愿在实验中再现,我们从中找出各物理量之间的关系,确定它们的数值大小,从中获得规律性的认识,或验证理论,或发现规律,或作为实际应用的依据。要得到这种量化的认识,就必须进行测量。为确定被测对象的测量值,首先必须选定一个单位,然后用这个单位与被测对象进行比较,求出它对该单位的比值,这个比值即为数值。显然,数值的大小与所选用的单位有关。因此,在表示一个被测对象的测量值时必须包括数值和单位。

## 1. 测量的基本概念

(1) 测量. 为确定被测对象的量值而进行的一组操作.

如用米尺测量桌子的长度, 把米尺作为标准的长度量具, 使米尺与桌子对齐并记录桌子两端相应的读数之差.

(2) 测量结果. 由测量所得到的赋予被测量的值.

测量结果即是根据已有的信息和条件对被测量量值作出的最佳估计, 也就是真值的最佳估计.

(3) 测量结果的重复性. 在相同测量条件下, 对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性.

相同测量条件亦称之为“重复性条件”, 主要包括: 相同的测量程序、相同的测量仪器、相同的观测者、相同的地点、在短期内的重复测量、相同的测量环境等.

(4) 测量结果的复现性. 在改变测量条件下, 对同一被测量进行多次测量, 其结果之间的一致性.

这里所指的测量条件包括测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考物质标准、测量环境等; 所指的改变是其中的一个或几个测量条件发生变化.

(5) 等精度测量. 每次测量条件都相同的情况下, 对某一物理量进行多次重复的一组测量. 因为我们没有任何依据可以判断某一次测量一定比另一次测量更准确, 每次测量的精度只能认为是具有同等级别的.

(6) 不等精度测量. 在诸测量条件中, 只要有一个发生了变化, 这时所进行的测量, 就称为不等精度测量.

## 2. 测量的分类

测量的分类方法很多, 这里只介绍一种按测量值获取方法进行的分类: 直接测量和间接测量.

(1) 直接测量. 无需对被测量与其他的量值进行函数关系的辅助计算, 可以用测量仪器或仪表直接读出测量量值的测量. 相应的物理量称为直接测量量. 例如: 用米尺测长度, 用天平称质量, 用电表测电流和电压等都是直接测量.

(2) 间接测量. 根据直接测量法测得的量值与被测量之间的已知函数关系, 通过计算间接得到被测量量值的测量. 相应的物理量称为间接测量量. 例如: 测量长方形面积  $S$ ,  $S$  是被测量, 一般无法用仪器直接测出, 而是通过间接测量长方形的长  $a$  和宽  $b$ , 由公式  $S=a \times b$  计算得到被测量  $S$  的量值.

## 二、误差的基本知识

物理实验离不开测量, 但从事过测量工作的人几乎都会认识到: 测量结果和实际值并不完全一致, 即存在误差. 造成误差的原因可以是: 测量仪器本身的局

限性(例如:量具刻度不可能绝对准确均匀,最小刻度以下的尾数无法读出等),测量方法的局限性(例如:电学测量中引线电阻的影响等),实验条件难以严格保证(如环境温度对测量的影响等),实验人员操作水平的限制(如眼睛无法对平衡位置做出严格的判断等)……因此,作为一个测量结果,不仅应当提供被测量对象的量值大小和单位,还应该对量值本身的可靠程度做出分析.不知道可靠程度的测量值是没有意义的.

### 1. 真值和误差

为了对测量及误差作进一步的讨论,引入有关真值和误差的一些基本概念.

**真值.** 被测量量在其所处的确定条件下,实际具有的量值.

**误差.** 测量值与真值之差. 记为

$$\Delta N = N - m \quad (1.1.1)$$

式中,  $N$  是测量结果(给出值),  $m$  是被测量的真值,  $\Delta N$  为测量误差;上式所定义的测量反映了测量值偏离真值的大小和方向,因此又称  $\Delta N$  为绝对误差.

真值是客观存在的,但它是一个理想的概念,在一般情况下不可能准确知道.然而在有些具体问题中,真值在实际上可以认为是已知的.例如为了估计用伏安法测电阻的误差,可以用可靠性更高的电桥的测量结果作为“真值”;氦氖激光器的波长,可以把大量文献采用的  $632.8 \text{ nm}$  作为“真值”等.这种与真值非常接近,从而在一定条件下能代替真值的给定值,常被称为约定真值.实际测量中,一般只能根据测量值确定测量的最佳值.通常取多次重复测量的平均值作为最佳值.

按照定义,误差是测量结果与客观真值之差,它既有大小又有方向.由于真值在多数情况下无法知道,因此,误差也是未知的,只能用约定真值或最佳值代替真值计算绝对误差.

误差与真值之比称为相对误差.记为

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{测量最佳值}} \times 100\% \quad (1.1.2)$$

有时被测量有公认值或理论值,还可用“百分误差”来表征:

$$\text{百分误差} = \frac{\text{测量最佳值} - \text{公认值}}{\text{公认值}} \times 100\% \quad (1.1.3)$$

误差存在于一切科学实验和测量过程的始终.在实验的设计、仪器本身的精度、环境条件以及实验数据处理中都可能存在误差,因此分析测量中可能产生的各种误差,尽可能消除其影响,并对最后结果中未能消除的误差作出估计,就是物理实验和许多科学实验中不可缺少的工作.为此,必须进一步研究误差的性质和来源.

## 2. 误差的分类

按误差的基本性质和产生原因可分为：系统误差、随机误差和粗大误差。正常情况下只有前两类误差。

(1) 系统误差。在相同条件下多次测量一个物理量时，每次的测量值总是比真值偏大或偏小一个固定的量值，或按一定的规律变化，具有这种特点的误差称为系统误差。

系统误差的特点是它的确定规律性。这种规律性可以表现为定值的，如天平的标准砝码不准造成的误差；可以表现为累积的，如用受热膨胀的钢尺进行测量，其指示值小于真实长度，误差随待测长度成比率增加；也可以表现为周期性规律的，如测角仪器中刻度盘与指针转动中心不重合造成的偏心差；还可以表现为其他复杂的规律。系统误差的确定性反映在：测量条件一经确定，误差也随之确定；重复测量时，误差的绝对值和符号均保持不变。因此，在相同实验条件下，多次重复测量不可能发现系统误差。只能通过在不同条件下对同一物理量的测量结果进行比较或利用已有知识对有关因素进行分析才能发现。

对操作者来说，系统误差的规律及其产生原因可能知道，也可能不知道。已被确切掌握了大小和符号的系统误差，称为可定系统误差。大小和符号不能确切掌握的系统误差称为未定系统误差。前者一般可以在测量过程中采取措施予以消除或在测量结果中进行修正；而后者一般难以做出修正，只能估计出它的取值范围。

(2) 随机误差(又叫偶然误差)。在实际测量条件下，多次测量同一物理量时，以不可预知的方式变化的那一部分误差称为随机误差。

随机误差的特点是单个具有随机性，而总体服从统计规律。随机误差的产生，一方面是由测量过程中一些随机的未能控制的可变因素或不确定因素引起的。如人的感官灵敏度以及仪器精密度的限制，使平衡点确定不准或估读数有起伏；由于周围环境干扰而导致读数的微小变化，以及随测量而来的其他不可预测的随机因数的影响等。另一方面是由被测对象本身的不稳定性引起的。如加工零件或被测样品本身存在的微小差异，这时被测量就没有明确的定义值，这也是引起随机误差的一个原因。

(3) 粗大误差(又叫过失误差)。粗大误差是由于测量者在测量过程中操作、读数、运算和记录等方面的差错而造成的误差。其特点是，它使得测量结果大大地偏离真实值(即误差“粗大”)，并且使得数据的结构显著地偏离正常规律。由于这类误差是与人的过失相联系的，故实验者应加强责任心，做到充分准备(如预习)，熟悉步骤，集中精力，认真正确地完成实验测量的全过程，尽力避免出现差



错；一旦出现差错而又未及时发现，就会造成个别数据的异常取值。得到数据时应按一定的原则判别取舍量值，以排除粗大误差。粗大误差严重或难以判别时，实验要重做。

上面虽将误差分为三类，但它们之间又有着内在的联系，尤其是系统误差和随机误差，它们的产生根源都来自于测量方法、设备装置、人员素质及环境的不完善。在一定的实验条件下，它们有各自的界限；但当条件改变时，彼此又可能互相转化。例如系统误差和随机误差的区别有时与空间和时间的因数有关。环境温度在短时间内可保持恒定或缓慢变化，但在长时间内却是在某个平均值附近作无规律变化，这是由于温度变化造成的误差，在短时间内可以看成是系统误差，而在长时间内则宜作随机误差处理。随着技术的发展和设备的改进，有些造成随机误差的因数能够得到控制，某些随机误差就可确定为系统误差并得到改善或修正，而有些规律复杂的未定系统误差，也可以通过改变测量状态使之随机化，这种系统误差又可当做随机误差处理。事实上，对那些微小的未定系统误差，很难做到在测量时保证其确定的状态，因此它们就会像随机误差那样，呈现出某种随机性。例如测弹性模量的钢丝，由于制造和使用方面的原因，其截面不可能是严格的圆。因此对确定的钢丝位置，“直径”的测量值主要表现出系统误差，但对不同的截面和方位，这种系统误差却又呈现出某种随机性。事物的这种内在统一性，使我们有可能在消除或修正了各种可定系统误差以后，用统一的方法对其余部分做出估计和评定。

总之，系统误差和随机误差并不存在绝对的界限。随着对误差性质认识的深化和测试技术的发展，有可能把过去作为随机误差的某些误差分离出来作为系统误差，或把某些系统误差作随机误差来处理。当测量条件偏离允许范围时，系统误差、随机误差也可能转化成粗大误差。

### 3. 精密度、准确度和正确度

习惯上人们经常用“精度”一类的词来形容测量结果的误差大小。为此，有必要对有关名词从误差角度作如下说明。

**精密度。**表示测量结果中随机误差大小的程度。系指在规定条件下对被测量进行多次测量时，所得结果之间符合的程度。

**准确度。**表示测量结果与被测量的(约定)真值之间的一致程度。准确度又称精密度。它反映了测量结果中系统误差与随机误差的综合。

**正确度。**表示测量结果中系统误差大小的程度。它反映了在规定条件下，测量结果中所有系统误差的综合。

作为一种形象的说明，可以把它们比作打靶弹着点的分布(如图 1-1-1 所示)来帮助理解。