

普通高等教育“十三五”规划教材



# 大学物理 实验教程

University Physics  
Experiments

主编 刘浩广 易江林

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

# 大学物理实验教程

主编 刘浩广 易江林  
副主编 王海威 黄翮 邓群  
参编 张华 金鸣 方宣杰



机械工业出版社

本书是南昌航空大学科技学院物理实验教学中心基于该院物理理论和实验课程开设的实际情况,在多年的大学物理理论和实验教学实践基础上编写而成的。本书与理论教材同步使用,按必修和选修实验组织教学内容,主要包括数据处理、误差分析、基本测量方法和操作技术等基本知识,同时涉及力、热、声、光、电、磁等方面实验共13个,其中4个为必修实验,9个为选修实验。本书在介绍实验基本原理、实验方法、实验内容和实验步骤时,力求简繁适当,通俗易懂,具有较强的可读性和实用性。

本书可作为高等学校理工科本科生的大学物理实验课程的教材或参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验教程 / 刘浩广, 易江林主编. —北京: 机械工业出版社, 2018. 12

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-61496-8

I. ①大… II. ①刘… ②易… 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(2018)第267774号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李永联 责任编辑:李永联 王良 任正一

责任校对:王明欣 封面设计:马精明

责任印制:孙炜

北京玥实印刷有限公司印刷

2019年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·9印张·172千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61496-8

定价:21.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

本书是根据南昌航空大学科技学院（以下简称科技学院）《物理课程教学大纲》的要求，结合学院专业设置特点和实验仪器设备的情况，在大学物理理论课程自编讲义《大学物理教程》的基础上反复修改后编写而成的。

自从科技学院成立以来，大学物理实验的教学环境、条件等都发生了很大的变化。面对新时代，特别是科技学院进驻共青城办学的特点，科技学院对大学物理教学大纲和课时在原基础上进行了调整，推出了新的培养计划和教学大纲，要求大学物理实验教学必须改变以往的培养思路和方法，同时为了适应新的教学仪器和新的实验，大学物理实验教学也需要新的教学内容。考虑到以上情况，本书和以往的教材相比具有以下几个特点：

1. 尽量体现物理实验新的教学思路，在完成规定实验技能培养的前提下注重培养学生的动手能力和独立思考问题的能力，同时尽量介绍一些实验思想比较先进、设计比较巧妙的实验，力求反映当前主流的物理实验理论、技术和方法，扩展学生的思路以及提高学生的动手能力，为学生学习其他课程做一定的准备。

2. 在内容编排上遵循实验能力培养所需的循序渐进的规律，所选的实验内容与教学理论紧密结合，有利于培养学生的独立思考和动手能力，体现了分类指导与因材施教的原则。

3. 在内容的编写上注意原理叙述清楚、简单易懂，并对实验步骤进行了详细的说明，便于学生课前预习，同时在数据记录和处理以及需要学生做解答的地方留出足够的空白处，以便学生完成实验任务，大大减轻了学生的负担。

4. 根据新培养计划的要求，选定了必修的4个实验：测定弹性模量、用单、双臂电桥测电阻、霍尔效应及其应用和磁悬浮，同时根据科技学院的实际情况选出了9个选修实验。其目的在于注重实验能力、创新能力的培养，加强对“科学实验全过程”的训练。本书各部分间依据由浅入深、循序渐进的原则，既可在更大的范围内适应不同类型、不同专业的学生，又可使学生更好地学习和掌握物理实验中的物理思想和方法。

本书内容涵盖力、热、光、声、电、磁方面，适合三本院校理工科专业的

学生使用。本书在编写过程中参考了国内外许多优秀的大学物理实验教材。

本书由刘浩广、易江林任主编，王海威、黄翻和邓群任副主编，张华、金鸣、方宣杰参加了本书的编写。在编写期间，编者参阅了许多兄弟院校的教材，吸取了宝贵经验，在此向这些教材的作者深表谢意。

由于编者水平有限，编写时间匆促，书中肯定存在不少的缺点和错误，我们恳切希望广大读者批评指正。

编者

2018年9月

# 目 录

前 言	1
第 1 章 绪论	1
第 2 章 误差理论、数据处理知识、基本测量方法和操作技术	4
2.1 误差理论与数据处理知识	4
2.1.1 几个基本概念	4
2.1.2 误差的处理	14
2.1.3 直接测量的数据处理	21
2.1.4 间接测量的数据处理	24
2.1.5 数据处理的几种常用方法	26
2.2 物理实验的基本测量方法与操作技术	35
2.2.1 基本测量方法	35
2.2.2 基本调整技术	39
2.2.3 基本操作技术	41
第 3 章 实验部分 (必修)	46
实验 1 测定弹性模量	46
实验 2 用单、双臂电桥测电阻	52
实验 3 霍尔效应原理及其应用	58
实验 4 磁悬浮实验	71
第 4 章 实验部分 (选修)	75
实验 5 用电流量热器测液体比热容	75
实验 6 声速的测定	78
实验 7 学习使用万用表	82
实验 8 电子示波器的使用	89
实验 9 光的干涉	99
实验 10 光栅衍射	107
实验 11 分光计的调节及测玻璃的折射率	112
实验 12 光的偏振	118

实验 13 迈克耳孙干涉仪 .....	122
附录 .....	126
附录 A 基本物理常量 .....	126
附录 B 国际单位制 (SI) .....	127
附录 C 国际单位制所用的词头 .....	127
附录 D 20℃时常用固体和液体的密度 .....	128
附录 E 常用金属的弹性模量 .....	128
附录 F 液体的动力黏度 .....	129
附录 G 常用仪器量具的主要技术指标和极限误差 .....	129
附录 H 世界十大经典物理实验 .....	130
参考文献 .....	138
1 .....	1.1.1
11 .....	1.1.2
12 .....	1.1.3
13 .....	1.1.4
14 .....	1.1.5
15 .....	1.1.6
16 .....	1.1.7
17 .....	1.1.8
18 .....	1.1.9
19 .....	1.1.10
20 .....	1.1.11
21 .....	1.1.12
22 .....	1.1.13
23 .....	1.1.14
24 .....	1.1.15
25 .....	1.1.16
26 .....	1.1.17
27 .....	1.1.18
28 .....	1.1.19
29 .....	1.1.20
30 .....	1.1.21
31 .....	1.1.22
32 .....	1.1.23
33 .....	1.1.24
34 .....	1.1.25
35 .....	1.1.26
36 .....	1.1.27
37 .....	1.1.28
38 .....	1.1.29
39 .....	1.1.30
40 .....	1.1.31
41 .....	1.1.32
42 .....	1.1.33
43 .....	1.1.34
44 .....	1.1.35
45 .....	1.1.36
46 .....	1.1.37
47 .....	1.1.38
48 .....	1.1.39
49 .....	1.1.40
50 .....	1.1.41
51 .....	1.1.42
52 .....	1.1.43
53 .....	1.1.44
54 .....	1.1.45
55 .....	1.1.46
56 .....	1.1.47
57 .....	1.1.48
58 .....	1.1.49
59 .....	1.1.50
60 .....	1.1.51
61 .....	1.1.52
62 .....	1.1.53
63 .....	1.1.54
64 .....	1.1.55
65 .....	1.1.56
66 .....	1.1.57
67 .....	1.1.58
68 .....	1.1.59
69 .....	1.1.60
70 .....	1.1.61
71 .....	1.1.62
72 .....	1.1.63
73 .....	1.1.64
74 .....	1.1.65
75 .....	1.1.66
76 .....	1.1.67
77 .....	1.1.68
78 .....	1.1.69
79 .....	1.1.70
80 .....	1.1.71
81 .....	1.1.72
82 .....	1.1.73
83 .....	1.1.74
84 .....	1.1.75
85 .....	1.1.76
86 .....	1.1.77
87 .....	1.1.78
88 .....	1.1.79
89 .....	1.1.80
90 .....	1.1.81
91 .....	1.1.82
92 .....	1.1.83
93 .....	1.1.84
94 .....	1.1.85
95 .....	1.1.86
96 .....	1.1.87
97 .....	1.1.88
98 .....	1.1.89
99 .....	1.1.90
100 .....	1.1.91
101 .....	1.1.92
102 .....	1.1.93
103 .....	1.1.94
104 .....	1.1.95
105 .....	1.1.96
106 .....	1.1.97
107 .....	1.1.98
108 .....	1.1.99
109 .....	1.1.100

# 第1章

## 绪论

物理学是一门实验科学，在物理学的建立和发展过程中，物理实验起到了直接的推动作用。从经典物理到近代、现代物理，物理实验在发现新事物、建立新规律、检验理论、测量物理量等诸多方面发挥了巨大作用。随着现代科学技术水平的迅速提高，物理实验的思想、方法、技术与装置已广泛地渗透到了自然学科和工程技术的各个领域，解决了一大批生产和科研问题。

大学物理实验是一门重要的基础课程，是学生进入大学后系统地接受科学实验方法和实验技能训练的开端。通过大学物理实验的学习，可以提高学生用实验手段发现、分析和解决问题的能力，激发学生的创新意识和创造力，培养和增强独立开展科学研究的素质。

### 1. 大学物理实验课的主要任务

(1) 通过对实验现象的观察分析和对物理量的测量，使学生掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能。运用物理学原理和物理实验方法研究物理规律，加深对物理学原理的理解。

(2) 培养与提高学生从事科学实验的能力。主要包括：

1) 自学能力。能够自行阅读实验教材与参考资料，正确理解实验内容，做好实验前的准备工作。

2) 动手能力。能借助教材与仪器说明书，正确调整和使用仪器，制作样品，发现和排除仪器故障。

3) 思维判断能力。运用物理学理论，对实验现象与结果进行分析和判断。

4) 书面表达能力。能够正确记录和处理实验数据，绘制图表，分析实验结果，撰写规范、合格的实验报告或总结报告。

5) 综合运用能力。能够将多种实验方法、实验仪器结合在一起，运用经典与现代测量技术和手段，完成某项实验任务。

6) 初步的实验设计能力。根据课题要求，能够确定实验方法和条件，合理选择、搭配仪器，拟定具体的实施步骤。

(3) 培养学生从事科学实验的素质。包括理论联系实际、实事求是的科学

作风；严肃认真的工作态度；不怕困难、勇于探索的创新精神；遵章守纪、爱护公物的优良品德；团结协作、共同进取的作风。

## 2. 大学物理实验课的基本程序

(1) 实验预约 目前，大学物理实验课程大多采用开放式教学方式，即学生可在实验室提供的上课时间和开设的实验项目内，根据自己的专业特点、兴趣爱好及时间安排，自己选择实验项目和实验时间。因此，做好上课前的预约工作是至关重要的。实验预约主要通过计算机网络实现，学生在预约时应仔细阅读实验室（或中心）关于开放实验的有关管理规定和预约指南，合理地安排好自己的实验课程，保证实验课的顺利进行。

(2) 实验前的预习 预习是训练和提高自学能力的极好途径，为了在规定时间内高质量地完成实验内容，必须做好预习工作。预习时，通过阅读实验教材及参考资料，重点考虑三方面问题：做什么（最终目的）；根据什么去做（实验原理和方法）；怎样做（实验方案、条件、步骤和关键要领）。在预习的基础上写出预习报告，报告主要内容是：实验名称、简单实验原理（如主要计算公式、线路图等）、实验内容（需观察的现象或需测量的物理量，数据记录表格）、可能遇到的问题及注意事项。

每次实验前，教师将检查预习情况。

(3) 实验中的观测 实验操作与观测是动手能力、思维判断能力和综合运用能力训练的过程，也是培养学生科学实验素质的主要环节。在教师指导性讲解的基础上，主要做到以下几方面要求：

- 1) 弄清实验内容的具体要求和注意事项。
- 2) 熟悉仪器，并进行调整测试，符合要求后，方可进行正式操作、测量。

3) 科学地、实事求是地记录下实验中观察到的各种现象和测量数据，同时记录与实验结果有关的实验条件，如环境（温度、湿度、压力等）、主要仪器（名称、型号、规格、准确度等），记录数据要注意有效数字和单位准确。

4) 实验完毕，将实验记录交给教师审阅签字，确认无误后方可整理仪器结束实验。

(4) 实验后的报告 实验报告是实验工作的全面总结和深入理解实验的一个环节。一份完整的实验报告，应是在完善预习报告的基础上，增加以下内容得到的：

- 1) 实验现象与数据，获得数据的条件（如仪器、环境等）。
- 2) 数据处理方法，结果表达。
- 3) 实验现象及误差分析，结果讨论、结论，对实验的体会与建议等。
- 4) 教师签字的原始数据。

书写实验报告时，要简明扼要，文字通顺，字迹端正，图表规范；学生应独立完成实验报告并及时上交。

### 3. 大学物理实验课的成绩评定

平时每个实验项目的成绩主要采用“三段式能力考核”方式进行评定，即通过考核预习情况检验学生的自学能力，通过操作检验学生的动手能力与理论联系实际能力，通过实验报告考核学生综合分析、处理数据和书面表达能力。教师在每一堂实验课的教学过程中，将根据实验项目评分标准对实验的每个环节严格评定，充分掌握学生的学习情况。实验成绩为预习成绩、操作成绩、报告成绩三者之和。

课程总成绩主要为各实验项目平均成绩与所做实验个数的加权平均值，必要时在学期末进行实验基本理论知识和实验基本技能考试。

## 第2章

# 误差理论、数据处理知识、 基本测量方法和操作技术

### 2.1 误差理论与数据处理知识

在科学研究和实验过程中，往往离不开对某个物理量的测量。物理实验除了定性地观察物理现象外，还需要对物理量进行定量测量，并确定各物理量之间的关系。

由于测量设备、环境、人员、方法等方面诸多因素的影响，使得测量值与真实值并不完全一致，这种差异在数值上表现为误差。随着科学水平的提高和人们的经验、技巧、专门知识的不断丰富，误差虽然可以被控制得越来越小，却始终不能把它彻底消除。因此，对实验中测量获得的数据，要选择合适的方法进行处理，并对其可靠性做出评价，否则，测量结果是没有价值的。

误差与数据处理理论已发展为一门学科，它涉及的内容丰富，且较为复杂。在此，将简单介绍大学物理实验中常用的一些关于误差与数据处理的初步和基本知识。

#### 2.1.1 几个基本概念

##### 1. 测量

(1) 定义 所谓测量，就是借助于专门设备，通过一定的实验方法，以确定物理量值为目的所进行的操作。它是一个实验比较的过程，即把一个量（待测量）与另外一个量（标准量）相比较。

测量由测量过程与测量结果组成。

测量过程是执行测量所需的一系列操作。包括建立单位、设计工具、设计测量方法、研究分析测量结果、寻找减小误差的途径等方面。

测量结果表示由测量所获得的待测量的值，一般由数值、单位和精度评定三部分组成。

(2) 分类 从不同的角度考虑,测量有不同的分类法。

按照测量结果获得方法的不同,测量分为直接测量和间接测量。

用预先校对好的测量仪器或量具对被测量进行测量,直接读取被测量数值的大小,称为直接测量。例如,用米尺测物体的长度,用秒表测时间,用天平与砝码测物体的质量,用电压表(或电流表)测电压(或电流)等都属于直接测量,相应的被测物理量称为直接测量量。

如果待测量的量值是由若干个直接测量量经过一定的函数运算获得的,这种测量称为间接测量。例如,体积、密度等物理量的测量往往采用间接测量,相应的被测物理量称为间接测量量。

实际测量中多数为间接测量,但直接测量简单、直观,是一切间接测量的基础。

按照测量条件的不同,测量可分为等精度测量和非等精度测量。

在相同的测量条件下(同一测量水平的观测者,同一精度的仪器,同样的实验方法和环境等)对某一待测量所做的重复性测量,称为等精度测量。等精度测量获得的所有数据的可信赖程度是相同的,在数据处理过程中地位相同,应一视同仁。

尽管实际测量中,很难保证所有条件不变,但由于等精度测量数据处理方法相对简单,因此只要测量条件变化不大,一般都可近似为等精度测量。大学物理实验学习阶段,主要考虑等精度测量。

在不同的测量条件下对某一待测量所做的重复性测量,称为非等精度测量。非等精度测量获得的所有数据的可信赖程度是不同的,在数据处理过程中应按精度高低,区别对待。

按照被测量对象在测量过程中所处的状态,可分为静态测量和动态测量。

如果待测量在测量过程中是固定不变的,这时所进行的测量称为静态测量。静态测量不需要考虑时间因素对测量结果的影响,应把被测量或误差作为随机变量进行处理。

如果待测量在测量过程中随时间不断变化,这时所进行的测量称为动态测量。动态测量需考虑时间因素对测量结果的影响,应把被测量或误差作为随机过程来进行处理。

## 2. 误差

(1) 定义 误差是指测量值与被测量的真值之差。用公式表示为

$$\text{误差}(\delta) = \text{测量值}(x) - \text{真值}(x_0) \quad (2-1-1)$$

其中,误差可正可负,反映了测量值偏离真值的程度;测量值是通过测量得到的被测量的值;真值是某一物理量在一定条件下所具有的客观的、不随测

量方法改变的真实数值。一般情况下,真值是未知的,所以误差的概念只具有理论意义。只有在某些特殊情况下,真值可认为是已知的,主要包括:

1) 理论真值:通过理论方法获得的真值。例如,三角形内角之和为 $180^\circ$ ;理想电容或电感构成的电路,电压与电流的相位差为 $90^\circ$ 等。

2) 计量学的约定真值:国际计量机构内部约定而确定的真值。例如,7个SI基本单位量的确定,即长度单位米(m)、时间单位秒(s)、电流单位安培(A)、质量单位千克(kg)、热力学单位开尔文(K)、物质的量的单位摩尔(mol)、发光强度单位坎德拉(cd)。

3) 标准器的相对真值:当高一级的标准器的误差小于低一级的标准器或普通计量仪器的误差一定程度时,高级标准器的指示值可以作为级别低的仪器的相对真值。

(2) 分类 根据误差的性质,可将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差(疏失误差)三类。

1) 系统误差 在同一测量条件下,多次测量同一物理量时,大小和符号保持恒定或随测量条件的改变而按某一确定规律变化的误差,称为系统误差。一个完整的测量系统,通常由实验源、实验体、观测系统、实验环境四部分组成,因此系统误差来源可以归纳为以下几个方面:

#### ① 仪器设备、装置误差。

a. 标准器误差:标准器是在与被测量相比较时提供标准值的器具。例如,标准电池、标准量块、标准电阻等。由于使用条件或制作不够完善等原因,标准器本身也会产生附加误差。

b. 仪器误差:测量仪器是指能将测量转化为可直接观测的指示值或等效信息的计量器具。例如,天平、电桥等比较仪器;温度计、秒表、检流计等指示仪器。仪器设计制造不完善、调节使用不当、老化等原因都会造成测量误差。

c. 附件误差:为使测量能方便地进行而使用的各种辅助配件,均属测量附件,例如,开关、导线、电源等。各种辅助配件也会引起误差。

② 环境误差:由于各种环境因素,如温度、湿度、压力、振动、电磁场等,与要求的标准状态不一致而引起的测量装置和被测量本身的变化所造成的误差。

③ 方法误差:由于测量方法或计算方法不完善、不合理等原因引起的误差。例如,瞬时测量时取样间隔不为零;用单摆测量重力加速度时,公式 $g=4\pi^2L/T^2$ 的近似性;用伏安法测电阻时,忽略电表内阻的影响等。

④ 人员误差:由于测量人员分辨力有限,感官的生理变化,反应速度及固有习惯等原因引起的误差。例如,测量滞后与超前、读数时视线倾斜等。

⑤ 从不同角度,系统误差又可分为不同种类。

a. 按对误差掌握程度, 系统误差可分为已定系统误差和未定系统误差。已定系统误差的大小和符号是可以确定的, 如千分尺、电表的零位误差, 伏安法测电阻电表内阻引起的误差等。这类误差可以修正。未定系统误差是大小和符号不能确定, 只能估计出大小变化范围的系统误差, 如仪器误差。

b. 按误差的变化规律, 系统误差又可分为不变系统误差和变化系统误差。不变系统误差的大小和符号保持恒定不变。变化系统误差的大小和符号按某一确定规律变化, 如线性、周期性等规律。

2) 随机误差 在同一测量条件下, 多次测量同一物理量时, 误差的绝对值时大时小, 符号时正时负, 以不可预知的方式变化, 这种误差称为随机误差。随机误差是由测量过程中一些随机的或不确定的因素引起的。例如, 人的感官灵敏度及仪器精度有限, 实验环境(温度、湿度、气流等)变化, 电源电压起伏, 微小振动等都会导致随机误差。由于引起随机误差的因素复杂, 又往往交叉在一起, 不能分开, 因此, 随机误差是无法控制的, 无法从实验中完全消除, 一般是通过多次测量来达到减小的目的。

从一次测量来看, 随机误差是随机的。但当测量次数足够多时, 随机误差服从一定的统计规律, 可按统计规律对误差进行估计。

3) 粗大误差 粗大误差又称疏失误差, 它是由于工作人员疏失、仪器失灵等原因造成的超出规定条件下预期的误差。含有粗大误差的测量值明显偏离被测量的真值, 在数据处理时, 应首先检验, 并将含有粗大误差的数据剔除。

应当指出, 系统误差是测量过程中某一突出因素变化所引起的, 随机误差是测量过程中多种因素微小变化综合引起的, 两者不存在绝对的界限, 变化的系统误差数值较小时与随机误差的界限不明显。随机误差和系统误差有时可以相互转化。

### (3) 误差的表示形式

1) 绝对误差: 用绝对大小给出的误差定义为绝对误差。用公式表示为

$$\text{绝对误差}(\delta) = \text{测量值}(x) - \text{真值}(x_0) \quad (2-1-2)$$

绝对误差是带有单位的数, 可正可负。绝对误差反映测量值偏离真值的大小与方向。

2) 相对误差: 绝对误差与被测量真值的比值称为相对误差( $E$ )。用公式表示为

$$\text{相对误差}(E) = \text{绝对误差}(\delta) / \text{真值}(x_0) \quad (2-1-3)$$

由于一般情况下真值未知, 通常用测量值代替真值。相对误差是无量纲数, 通常用百分比( $\%$ )表示。相对误差可以反映测量的精度高低。

**例 2-1-1** 测量两个长度量, 测量值分别为  $L_1 = 100.0\text{mm}$ ,  $L_2 = 80.0\text{mm}$ , 其

测量误差分别为  $\delta_1 = 0.8\text{mm}$ ,  $\delta_2 = 0.7\text{mm}$ 。试比较两个测量结果精度的高低。

$$\text{解: } E_1 = \frac{\delta_1}{L_1} \times 100\% = \frac{0.8}{100.0} \times 100\% = 0.8\%,$$

$$E_2 = \frac{\delta_2}{L_2} \times 100\% = \frac{0.7}{80.0} \times 100\% = 0.9\%$$

从绝对误差的角度看, 第一个量测量值的误差大于第二个量测量值的误差; 但从相对误差的角度来看, 第一个量的测量精度却高于第二个量。

3) 引用误差: 引用误差定义为绝对误差与测量范围上限(或量程)的比值, 即

$$\text{引用误差} = \text{绝对误差} / \text{测量范围上限} \quad (2-1-4)$$

引用误差通常用百分比(%)表示, 主要用于仪器误差的表示, 实际是一种简化和使用方便的仪器仪表的相对误差。仪表量程或测量范围内各点的引用误差一般不相同, 其中最大的引用误差称为引用误差限, 去掉引用误差的正负号及“%”后, 称为仪器的准确度等级(Accuracy class)。电工仪表的准确度等级分别规定为0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0和5.0等11级。

**例 2-1-2** 检定 2.5 级, 上限为 100V 的电压表, 发现 50V 分度点的示值误差为 2V, 并且比其他各点的误差大, 试问该电压表的最大引用误差为多少? 该表是否合格?

**解:** 由引用误差定义可知, 该表的最大引用误差为  $\frac{2\text{V}}{100\text{V}} = 2\%$ 。根据准确度等级的含义,  $2\% < 2.5\%$ , 显然该电表合格。

### 3. 精度

精度用来描述测量结果与真值的接近程度。它是一个定性的概念, 不能用数值大小来表示, 只能讲高低。主要分为

(1) 精密度 精密度用来描述在一定条件下, 进行多次重复测量时, 各测量值之间的接近程度。精密度反映随机误差大小的程度。

(2) 正确度 正确度用来描述测量结果与真值的偏离程度, 它反映系统误差的大小程度。

(3) 准确度(精确度) 准确度用来描述测量结果与真值的一致性程度, 反映系统误差与随机误差综合大小程度。准确度高说明测量结果既精密又正确。

通过图 2-1-1 打靶弹着点的分布图, 可以形象地说明上述三个概念。图 2-1-1a 表示精密度高, 正确度低; 图 2-1-1b 表示正确度高, 精密度低; 图 2-1-1c 表示正确度与精密度都高, 即准确度高, 或精度高。



图 2-1-1 精度示意图

#### 4. 测量不确定度

由于真值的未知性,使得测量误差的大小与正负难以确定。因此,在对测量结果的质量进行定量评定时,往往只是给出误差以一定的概率出现的范围。而这个用来定量评定测量结果质量的参数,即为测量不确定度。

(1) 定义 测量不确定度是表征合理赋予被测量值分散性的一个参数。测量不确定度可以用标准差表示,称为标准不确定度,用符号  $u$  表示。如果是几个不确定度的合成,称为合成标准不确定度,用符号  $u_c$  表示。有时也可以将合成标准不确定度乘以某一倍数,即置信(包含)因子  $k$ ,这时称为扩展不确定度,用符号  $U$  表示。

测量不确定度与测量结果相联系,完整的测量结果表达中,应包括测量不确定度。例如,某一被测量  $x$  最佳估计值为  $\bar{x}$ ,测量的标准不确定度为  $u$ ,则结果表示为  $x = \bar{x} \pm u$ 。

测量不确定度有绝对不确定度和相对不确定度两种表示形式。

误差与不确定度是两个不同的概念,不应混淆。误差是客观存在的测量结果与真值之差,是一个确定的值。但由于真值往往无法知道,因此误差一般不能准确得到。而测量不确定度是说明测量值分散性的参数,可由人们分析和评定得到,与人们的认识程度有关。一个测量结果可能误差很小,但由于认识不足,评定得到的不确定度可能较大;相反,可能测量结果误差较大,由于认识或分析很足,给出的不确定度却较小。测量误差与不确定度的区别可归纳为以下几方面:

- 1) 测量不确定度是一个无正负的参数,用标准差或标准差的倍数表示。而测量误差则可正可负,其值为测量结果减去被测量的真值。
- 2) 测量不确定度表示测量值的分散性。误差表示测量结果偏离真值的大小及方向。
- 3) 测量不确定度受人们对被测量、影响量及测量过程的认识程度影响。而

测量误差是客观存在的，不以人的认识程度而改变。

4) 测量不确定度可由人们根据实验、资料、经验等信息进行评定，可以定量确定。由于真值未知，测量误差往往不能准确得到，只有用约定真值代替真值时，才可以得到误差的估计值。

5) 评定测量不确定度各分量时一般不必区分其性质，需要区分时应表述为：“由随机效应引入的不确定度分量”和“由系统效应引入的不确定度分量”。而测量误差按性质分为随机误差与系统误差两类。

6) 不能用不确定度对测量结果进行修正，对已修正的测量结果进行不确定度评定时应考虑修正不完善而引入的不确定度。而已知系统误差的估计值时，可以对测量结果进行修正，得到已修正的测量结果。

误差与测量不确定度既有区别，又有联系。误差理论是估算不确定度的基础，不确定度是误差理论的补充。

(2) 测量不确定度的来源 测量过程中影响不确定度的因素比较多，主要可以归纳为以下几方面：

1) 被测量的定义不完善及取样代表性不够所引起的测量不确定度。被测量在不同条件下的值是不一样的，在定义它时，必须考虑到具体的环境条件，否则会引起由于定义不完整带来的不确定度。例如，定义被测量是一根标称值为1m的钢棒的长度，就属于被测量的定义不完整。因为被测钢棒的长度在测量精度要求比较高时受温度和压力的影响比较明显，而这些条件没有在定义中说明。完整的定义应为：标称值为1m的钢棒在20.0℃和97453Pa时的长度。另外，由于测量方法和仪器设备的限制，往往只能取待测材料的一部分作为样品进行测量，如果待测材料的均匀性不好，则所取样品的代表性可能不够，由此会引起测量不确定度。例如，测量一批铜棒的线电阻率时，由于铜棒的粗细不均匀，或材料的成分不均匀，因此，所取出的一段样品代表性可能不够。

2) 实现被测量定义的方法不理想。按照被测量定义的要求，实际测量中某些条件达不到，只能采用近似或假定，这时必然会引起不确定度。例如，上述长度测量中，由于温度和压力达不到定义中的要求，就会引起不确定度。再如，被测量表达式的近似程度，电测量中由于测量系统不完善引起的绝缘漏电、引线电阻上的压降等，均会引起不确定度。

3) 测量仪器计量性能的局限性。测量中使用的仪器，由于其灵敏度、鉴别力、分辨力及稳定性等方面的局限性，测量过程中都会引起不确定度。

4) 作为计量标准的值不准确或引用的数据和参量不准确。通常测量是将被测量与测量标准的给定值相比较来实现的。因此，作为测量标准的不确定度必然会带入测量结果。另外，测量中还常常要引用一些数据或参量，这些数据或