

大学物理实验

《大学物理实验》编写组 编著



清华大学出版社

大学物理实验

《大学物理实验》编写组 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》并结合实验教学改革的实际情况编写的。全书分为误差理论与数据处理、基本测量方法、基本实验仪器、基本实验、综合性实验、设计性实验、研究性实验共7章,75个实验项目,涉及力学、热学、电磁学、光学和近代物理及应用等多方面内容。书中还概括介绍了物理实验中的基本测量方法和一些常见仪器的使用方法,附录中列出了常用物理数据。

本书可作为高等院校理工类各专业的大学物理实验课程教材或教学参考书,也可作为与物理学相关的广大实验工作者的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/《大学物理实验》编写组编著. —北京:清华大学出版社,2008.3

ISBN 978-7-302-17105-8

I. 大… II. ①大… 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(2008)第 022664 号

责任编辑:石磊 赵从棉

责任校对:刘玉霞

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015

客户服务:010-62776969

印装者:北京市昌平环球印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:24 字 数:491千字

版 次:2008年3月第1版 印 次:2008年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:029035-01

前 言

本书是为适应当前实验教学改革的要求,根据教育部《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》和《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的精神,以多年使用的讲义为基础并结合近年来实验教学改革实践的成果而编写的。共包括实验项目 70 多个,内容广泛,深入浅出。

大学物理实验是理工科学生必修的一门重要基础实验课程,也是学生进入大学后较早接触到的一门系统全面的实验课程。为了使学生在有限的时间内能系统地掌握物理实验的基本知识和基本方法,培养学生的实验动手能力,促使学生积极参与实验,为后续实验课程奠定基础,本书在编写过程中打破了传统的实验教学内容体系,在熟悉基本仪器和基本测量的基础上,采用基本实验、综合设计性实验、研究性实验的三级构架模式,这样既保证学生通过实验课能较好地掌握和运用理论知识,又能提高实验技能。实践证明这样的模式适合并满足大多数学生的需要。

本书第 1~3 章采用较多的篇幅对误差理论及数据处理的基础知识这一重要的实验教学内容进行了详细介绍,通过一些实验项目对测量误差的估计、完整的数据记录和处理、误差分析方法等方面的示范和具体要求,培养学生严谨的工作态度。

第 4 章是基础训练,对基本实验仪器和基础实验项目的目的和原理作了简明扼要的论述,力求做到深入浅出地阐明物理意义,使学生容易掌握重点,明确实验思路和方法,加深对物理基础理论知识的理解。

第 5 章和第 6 章是综合设计性实验。这类题目的实验过程要求非常明确,学生可按实验原理、实验步骤、实验方法及参考仪器的合理选择来完成。通过该类实验可提高学生独立分析问题和解决问题的能力,同时也有助于学生综合实践能力的提高。

第 7 章是研究性实验。这类实验注重趣味性、科学性,还带有科学研究的性质。学生通过查阅参考书和相关的资料,独立地写出实验原理、实验步骤、实验方法,合理选择实验仪器。通过这类实验项目的训练可以帮助学生初步学习如何创新地完成一项研究性课题,充分调动学生的学习积极性,培养学生综合解决问题的能力,培养学生的创新意识和创新精神。

本书是我们多年教学实践的产物,特别是近几年开展大学物理实验教学改革的成果。它凝聚着每位教师和实验技术人员的辛勤劳动,是集体智慧的结晶。本书由重庆工商大学大学物理实验编写组集体创作,编写组成员有:王琰、王代新、龙涛、刘英、陈刚、张世勇、洪云、唐裕霞、程发银。

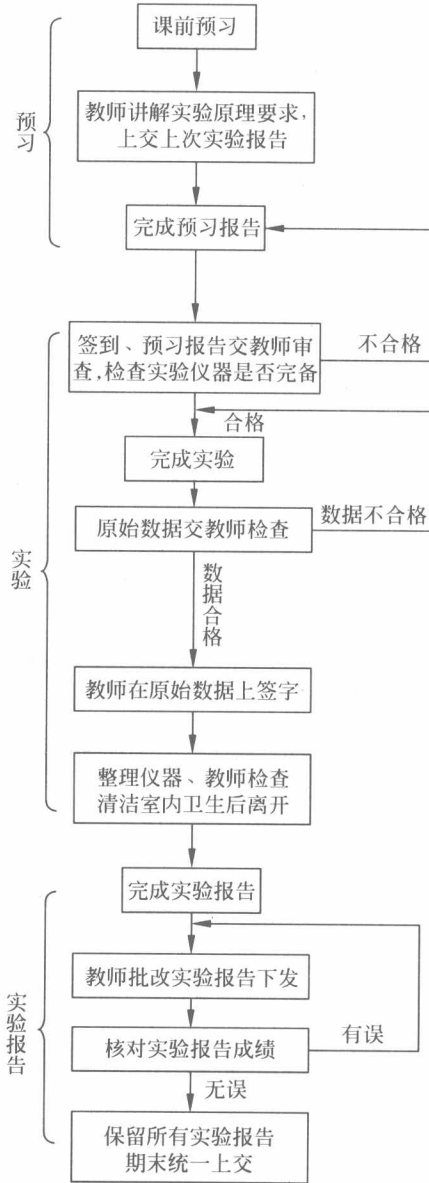
编写适合教学改革需要的实验教材是一种探索,它是一项凝聚教师集体劳动的工程。我们在编写本教材时,吸收了多年来在物理实验室工作过的许多同志的智慧和成果,也参考和借鉴了兄弟院校的有关教材。本书的出版得到了重庆工商大学和清华大学出版社的大力支持,重庆工商大学资助了出版经费。在此,我们一并表示衷心的感谢!

由于时间短促,加之编写水平有限,难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2007年11月

物理实验课程流程图



目 录

绪论	1
第 1 章 误差理论与数据处理	4
1.1 测量与误差	4
1.1.1 测量的基本概念	4
1.1.2 误差的基本概念	6
1.1.3 有效数字及其运算规则	9
习题	11
1.2 测量结果的评定和不确定度	12
1.2.1 不确定度及其分类	12
1.2.2 直接测量结果不确定度的计算	14
1.2.3 间接测量结果不确定度的合成	17
1.2.4 直接测量和间接测量结果的表达式	20
1.3 实验数据的常用处理方法	21
第 2 章 基本测量方法	28
2.1 比较法	28
2.2 放大法	30
2.3 补偿法	31
2.4 模拟法	33
2.5 转换法及传感器	34
2.6 平衡法(零示法)	39
第 3 章 基本实验仪器	41
3.1 气垫导轨	41
3.2 温度测量仪器	42
3.2.1 液体温度计	43
3.2.2 热电偶温度计	44
3.2.3 电阻温度计	46

3.3	电子天平	48
3.4	福廷式气压计	49
3.5	电磁测量仪器	50
3.5.1	电学实验中常见的电表	52
3.5.2	数字式仪表	57
3.5.3	电阻器	59
3.5.4	实验室中常用的电源	62
3.5.5	电学度量器	65
3.5.6	电磁学实验规程	70
3.6	光学实验仪器	77
3.6.1	实验室常用光源	77
3.6.2	常用光电探测器	80
3.6.3	常用光学仪器	81
3.6.4	光学实验注意事项	84
第4章 基本实验		86
实验1	长度和固体密度测量	86
实验2	验证牛顿第二定律	95
实验3	验证动量守恒定律	98
实验4	简谐振动的研究	102
实验5	扭摆法测定物体转动惯量	105
实验6	伸长法测定杨氏弹性模量	112
实验7	研究弦线上波的传播规律	117
实验8	液体粘滞系数的测定	123
实验9	电热当量的测定	125
实验10	液体表面张力系数的测定	130
实验11	测量冰的溶解热	134
实验12	固体比热容的测量	138
实验13	用电流量热器法测定液体的比热容	140
实验14	气体比热容比的测定	143
实验15	气体体膨胀系数的测定	146
实验16	滑线变阻器特性的研究	147
实验17	伏安法测电阻	151
实验18	惠斯通电桥	154

实验 19	用电位差计测量电池的电动势和内阻	157
实验 20	用模拟法测绘静电场	161
实验 21	示波器的原理和使用	164
实验 22	灵敏电流计	169
实验 23	电子束线的偏转	174
实验 24	电子束线的聚焦	176
实验 25	用双臂电桥测低电阻	180
实验 26	薄透镜焦距的测定	183
实验 27	用牛顿环测定透镜的曲率半径	187
实验 28	分光计的调节及棱镜顶角的测量	191
实验 29	单缝衍射光强分布及单缝宽度的测量	198
实验 30	光栅衍射	202
实验 31	棱镜折射率的测量	206
实验 32	双棱镜干涉测光波波长	209
实验 33	透镜组基点的测定	213
实验 34	偏振现象的观察	217
实验 35	密立根油滴实验	221
实验 36	弗兰克-赫兹实验	228
实验 37	原子光谱实验——小型棱镜读(摄)谱仪测汞原子光谱	234
实验 38	光电效应	239
实验 39	塞曼效应	245
实验 40	迈克耳孙干涉仪实验	255
第 5 章	综合性实验	262
实验 1	声速的测量	262
实验 2	用霍尔位置传感器法测杨氏模量(弯曲法)	266
实验 3	金属线膨胀系数的测定	271
实验 4	传感器电阻温度系数的研究	274
实验 5	不良导体导热系数的测定	278
实验 6	RLC 电路特性的研究	283
实验 7	用示波器观测动态磁滞回线和磁化曲线	294
实验 8	电表的扩程与校准	299
实验 9	用霍尔效应测量磁场	303
实验 10	交流电桥的原理和应用	305

实验 11	非平衡电桥——半导体热敏电阻温度计	314
实验 12	椭圆偏振光的产生和检验	316
实验 13	光电池特性研究	320
实验 14	声光衍射与液体声学特性的测定	326
实验 15	全息光栅的制作	331
实验 16	真空的获得和真空镀膜	332
第 6 章	设计性实验	342
实验 1	气垫导轨上空气膜厚度的粗略测定	344
实验 2	铜丝的电阻温度系数测量设计	345
实验 3	热敏电阻温度开关设计	346
实验 4	数字温度计的设计与制作	346
实验 5	液体表面张力系数的测量设计	347
实验 6	液体体膨胀系数测量设计	349
实验 7	用伏安法测量电源的输出特性	349
实验 8	用电位差计校准改装电流表	350
实验 9	设计组装欧姆表	350
实验 10	用掠入法测定透明介质的折射率	351
实验 11	用干涉法测定透明介质的折射率	351
第 7 章	研究性实验	353
实验 1	全息光栅的制作及光栅特性的研究	353
实验 2	傅里叶频谱的观察和分析	354
实验 3	彩虹全息的研究	354
实验 4	全息照相的研究	355
实验 5	电磁感应与磁悬浮力	356
实验 6	偏振光反射率与入射角的关系及折射率的测定	357
实验 7	望远镜与显微镜的组装	359
实验 8	用激光显示李萨如图形	360
附录	常用数据表	362
表 1	物理学基本常数	362
表 2	海平面上不同纬度的重力加速度	362
表 3	不同温度时水的密度、表面张力系数、粘滞系数	363

表 4	不同温度时空气的密度、粘滞系数	363
表 5	某些液体的粘滞系数	364
表 6	20℃时常用固体和液体的密度	364
表 7	20℃时金属的杨氏模量	364
表 8	某些物质的比热容	365
表 9	101325Pa 大气压下一些物质的熔点和沸点	365
表 10	某些物质中的声速	365
表 11	常用材料的导热系数	366
表 12	固体的线膨胀系数	366
表 13	101325Pa 大气压下液体的体膨胀系数	367
表 14	某些金属和合金的电阻率、温度系数	367
表 15	气体的比定压热容和比定容热容	367
表 16	标准化热电偶	368
表 17	旋光物质的旋光率	368
表 18	常用物质的折射率	368
表 19	常用光源的谱线波长	369
参考文献	370

绪 论

物理学是一门实验科学,物理规律的研究都以严格的实验事实为基础,并不断受到实验的检验。在物理学的发展过程中物理实验一直起着重要作用,今后在探索和开拓新的科技领域中,物理实验仍然是有力的工具。大学物理实验课是对学生进行科学实验基础训练的一门重要课程,是继物理理论课程之后独立开设的一门实验课程。它不仅加深学生对理论的理解,更重要的是能使获得基本的实验知识,在实验方法和技能等方面得到较为系统、严格的训练。因此,物理实验是学生在大学里学习或从事科学实验的起步。同时,在培养学生良好的科学素质和科学世界观方面,物理实验也起着潜移默化的作用。因此,学好物理实验对于高等院校理工科的学生是十分重要的。

1. 物理实验课的目的和任务

(1) 通过对物理现象的观测和分析,学习运用物理理论指导实验,分析和解决实验中的问题。通过理论和实际的结合加深对理论的理解。

(2) 培养学生从事科学实验的初步能力。这些能力是指:通过阅读教材或资料,能概括出实验原理和方法的要点;正确使用基本实验仪器,掌握基本物理量的测量方法和实验技能;能记录和处理实验数据,分析实验结果和撰写实验报告;以及自行设计和完成一些比较复杂的实验任务。

(3) 培养学生实事求是的科学态度,严谨踏实的工作作风,勇于探索、坚忍不拔的钻研精神以及遵守纪律、团结协作、爱护公共财产的良好品德。

2. 物理实验的主要环节

物理实验是学生在教师的引导下独立完成的一项实践活动,为达到物理实验课程的目的,学生在实验过程中应以严谨的科学态度认真对待实验中的每一个环节。现将主要环节和要求做如下说明。

1) 实验预习

实验课前认真阅读实验教材和有关参考资料(解决做什么,依据什么去做,怎么做),并学会从中归纳出该实验所采用的原理、公式、方法、实验仪器及弄清楚实验过程中的关键问题,在充分预习的基础上写出预习报告。预习报告的内容包括实验原理、公式、线路图或光路图及数据记录表格。可预约进入实验室进行课前预习。

2) 实验操作

学生进入实验室操作前应先在实验运行记录册上签到,仔细阅读实验室规则。然后在教师的指导下对实验用的仪器设备进行检查调试,细心观察实验现象,善于捕捉和分析实验现象,认真钻研和探索实验中的每一个问题,自觉地应用理论知识指导实验操作。若发现异常和仪器故障时,应报告老师,并在教师的指导下学习排除故障的方法。对实验数据的测定要严肃认真,并做好完备而整洁的记录,例如分组编号,主要仪器名称、规格等,记录数据应用钢笔或圆珠笔,测得的数据应直接记录在预习报告的表格中,如确系记错了,也不要涂改,在旁边写下正确值,以供在分析测量结果和误差时作参考,注意有效数字的有效位数和物理量的单位。通过这一环节将培养同学们的实际动手能力、分析问题和解决问题的能力。

完成实验后要对实验数据进行及时的整理。如果原始记录删改较多,对重要的数据要重新列表,再送教师审阅、签名认可后,然后再整理仪器设备及实验桌椅,离开实验室。

3) 实验报告、总结

实验报告是对实验工作的全面总结,书写实验报告是培养科学表达能力的主要环节。在实验报告中要将原始记录数据重新列在正式的报告纸上,实验后要对数据及时进行处理,数据处理过程包括计算、作图、误差计算与分析等,计算要有计算式,代入的数据要有根据,既便于别人能看懂,也便于自己检查,数据处理后应写出实验结果。实验报告要求文字工整、语言简洁明了、层次清楚、图表规范、结论确切可行、分析全面中肯、有独到的见解。

3. 物理实验的具体要求

1) 预习报告

要求用统一的实验报告纸按格式要求书写,书写内容简洁、明了、工整、清晰。具体内容有:

- (1) 实验题目、实验者姓名、实验日期、班级、学号、指导教师。
- (2) 实验目的。
- (3) 仪器用具。包括型号、编号、参数等。
- (4) 实验原理。简要叙述有关实验内容(包括电路图、光路图或实验装置示意图)及测量中依据的主要公式,公式中各量的物理含义及单位,公式成立满足的实验条件等以及数据记录表格,不要照抄教材。
- (5) 实验注意事项,实验仪器的操作规程。
- (6) 回答教师要求的预习思考题。

上课前将实验预习报告交指导教师审查,合格者才能进行实验。无预习报告的不能进行实验,学生应重新预习实验后,预约补做实验,本次成绩按“不及格”记分。如果没有

补做实验,本次实验成绩按“零分”记。

2) 实验操作

(1) 进入实验室后,上交本次的预习报告和上次的实验报告,在实验运行记录册上签到,检查实验仪器是否完备,如不完备,应立即向教师汇报。

(2) 实验操作中,教师根据实验者完成实验的操作情况、实验程序规范程度、实验数据合乎要求的情况,给定每个实验者的操作成绩。

(3) 对于在规定的时间内测量的实验数据不合格者或不能完成实验者,本次实验成绩按“不及格”记,并要求其重做。未重做者,本次实验成绩按“零分”记。

(4) 伪造或抄袭数据者本次成绩记“零分”。

(5) 实验原始数据经教师签字认可后,整理好仪器设备及实验桌椅后,方可离开实验室。

3) 实验报告

实验报告要求在预习报告的基础上继续完成,按要求处理实验数据,正确表示实验的结果,报告书写图文清晰、工整,并附上教师签字的原始数据,具体内容有:

(1) 实验步骤。根据自己实际的实验操作写出主要步骤。

(2) 实验数据表格与数据处理。尽可能用列表法记录和处理数据,完成计算、绘出曲线。

(3) 正确表示本次实验的结果、计算误差,对误差来源进行分析。

(4) 小结或讨论。可供讨论的内容很多,内容不限,可以是实验中现象的分析、改进实验的建议、解决实验中关键问题的体会、实验的心得体会和见解等。

(5) 回答教师指定的思考题。

第 1 章 误差理论与数据处理

1.1 测量与误差

1.1.1 测量的基本概念

1. 测量的定义

为了取得被测对象的量值而进行的实验称为测量。在测量中,是把被测对象与体现测量单位的标准工具进行比较。比较的结果在数值上体现为测量单位的倍数。可以用以下的方程式来表示测量的过程:

$$L = cS \quad (1.1.1)$$

式中, L 为被测量; S 为测量单位;比值 $c=L/S$ 就是测量的结果,它反映了被测量相对于某一测量标准在数字上的关系。显然, c 的大小与 S 的选取有关。即用不同大小的单位来测量同一物理对象,所得的比例值不会相同。例如,假若用单位为 1m 的米尺来测量某一物体的长度,得比例值 23.5 ;如改用单位为 1mm 的量尺来测量,其数值就会是 23500 。在实际的科学研究和生产实践中,对测量结果的要求各不相同,因而在测量方法上也千差万别,其涉及的具体问题也是多种多样的。选取正确的测量单位是进行测量的一个首要前提。例如,不能用 m 作为单位来测量时间,也不宜用 g 来表示一个人的体重。

由于不同的测量要使用不同的测量单位,为消除混乱,有必要统一各种单位。现通常都使用国际单位制,其测量单位一般采用十进制,只有少数例外。另外,由于测量过程实际上就是将被测量与测量单位进行比较的过程,因而测量单位就必须以物质形式体现出来,而不只是一种抽象的数字。在生产和科学研究中所使用的各种仪器仪表和测量工具就是各种测量单位的物质体现。

2. 测量方法及分类

测量方法是指测量原理、测量方式、测量仪器系统及测量环境条件等各种测量环节的总和。一般可以将测量分为以下几种。

1) 直接测量与间接测量

直接测量是将被测物与标准量进行直接的比对,或用标定好了的仪器直接测量,从而

在不需要中间环节(通过函数运算或其他仪器的测量)的情况下得到被测物的量值。例如用米尺测量某一长度、用电压表测量电压等,这时,长度和电压都是直接得到的数值,都是直接测量。

间接测量是通过函数运算或多次不同的仪器测量而取得被测物的量值。例如,为了测量圆柱体的体积,可以通过测量其高 h 和直径 D ,然后用公式 $V = \pi D^2 h / 4$ 来计算圆柱体的体积。此种测量方法就是间接测量。

2) 绝对测量与相对测量

测量数据就是被测物的量值的绝对大小的测量称为绝对测量。如上面所举例子中长度和电压的测量。

相对测量并不直接测量被测物的量值的绝对大小,而是通过测量被测物相对于标准量的偏差值来确定被测物的量值。例如图 1.1,在测量圆柱的直径 D 时,并不直接测量 D 的大小,而是测量圆柱与标准件 H 的差值 d 来间接计算 D 的大小。

在大多数情况下,相对测量比直接测量更容易满足测量的精度要求。

3) 静态测量与动态测量

对不随时间变化的量进行的测量称为静态测量。对随时间变化的量进行的测量称为动态测量。

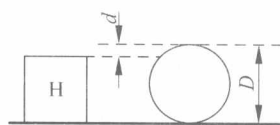


图 1.1 用相对测量法测量圆柱的直径

3. 精确度的概念

由于在实际中,任何测量结果都不可能没有误差(即测得值并非实际的真实值),因此应有一种指标来衡量测量结果的真实可信与否。测量的精确度就表示一测量结果与真实值的相近程度。精确度越高,说明测量结果越好,越接近实际值。在误差理论中,测量的精确度是以“不确定度”来表征的。不确定度表示由于存在误差而使测量结果不能被肯定的程度大小,即表示测量结果是否代表被测对象的真实值的可能性的的大小。不确定度是评价测量方法优劣好坏的基本指标之一。在实际的测量中,应当依据对测量精确度的不同要求,恰当地设计测量方法。这就需要对测量方法进行深入的分析和正确地运用误差理论知识并且联系实际。但是应当注意到,提高测量精确度的任何努力都要有一定的代价。因为高精度就往往意味着更精密的仪器、更多的测量、更长的时间、更多的计算,等等。因此,从经济效益的角度来考虑,并非每次测量的精确度越高越好。

4. 不确定度的概念

不确定度是表征被测量真值所处范围的评定结果,这个范围以一定概率包含着被测

量的真值。不确定度越大,这个范围包含真值的置信度(概率)就越高。按其数值评定方法,它们可分为以下两类:

A类不确定度。用统计方法计算的那些分量(与数据的离散性对应),常用字母 s 表示。

B类不确定度。用其他方法估算的那些分量(与仪器的欠准确对应),常用字母 u 表示。

注意: A、B类不确定度与传统划分的随机误差、系统误差并不存在简单的对应关系。

1.1.2 误差的基本概念

1. 误差的定义

误差可以定义为测得值 x 与真实值 x_0 的差值,也称为绝对误差,记为 ϵ ,表示为

$$\epsilon = x - x_0 \quad (1.1.2)$$

真实值在一般情况下是未知的,它只是表示客观上存在着这样一个值,但人们无法知道。在有些时候,国际公认的最高基准量也可看作是一种真值,称为约定真值。于是,用约定真值代替真实值计算的误差也可称为误差。

2. 其他误差

1) 相对误差

绝对误差有时并不能完全直观地反映测量的精确度,故而用相对误差来表示可能更方便。例如,在测一头大象时,其绝对误差为 0.8g,在称一只鸡时,其绝对误差也为 0.8g,同样的绝对误差并未能反映出两者在测量精确度上的好坏。相对误差定义如下:

$$E_r = \epsilon/x_0 \times 100\% \quad (1.1.3)$$

用相对误差能确切地反映测量效果。被测量的大小不同,其允许的绝对误差也应有所不同。被测量越小,绝对误差也应越小。

2) 引用误差

有时还使用引用误差。引用误差属于相对误差的一种,常用于仪表的测量中,特别是对多挡仪表的精度评定。在多挡仪表中,其各挡次、各刻度位置上所产生的测量误差都不相同,不宜使用绝对误差。引用误差的规定如下:

$$\text{引用误差} = \text{示值误差} / \text{最大量程} \times 100\% \quad (1.1.4)$$

其中,最大量程是指仪表的最大刻度数,示值误差是指仪表指示出的数值的绝对误差。引用误差的大小规定了仪表的精度等级。如精度等级为 0.2 的电表,其最大允许的引用误差就是 0.2%。