



大学物理实验

郭献章 穆松梅 张家生 / 主编

DAXUE WULI SHIYAN



科学出版社

大学物理实验

郭献章 穆松梅 张家生 主编

清华大学出版社

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据教育部《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》编写的大学物理实验教材。全书共5章,包括绪论,基本仪器的使用、测量、误差及有效数字、处理数据的几种方法、实验项目、物理实验用表等。全书共41个实验,分为基础物理实验、综合与应用性实验、设计性物理实验三部分,为适应社会发展对高等教育的要求,侧重了综合性和设计性实验项目的选用。

本书可供高等工科院校作为物理实验教材或教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/郭献章,穆松梅,张家生主编. —北京:科学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-03-045286-3

I. ①大… II. ①郭…②穆…③张… 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 (2015) 第 177617 号

责任编辑:任彦斌/责任校对:刘亚琦

责任印制:赵 博/封面设计:无极书装

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>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年8月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:350 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会之物理基础课程教学指导分委员会颁发的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》编写的。本书是在《实验物理学》(第二版)的基础上,根据当前的教学情况与近几年物理实验教学改革的特点、方向及高等教育发展的实际需要,增删、调整了部分实验项目,并对一些实验内容进行了较大的改动。

本书对有关物理实验的基础知识、基本技能作了比较详细的介绍,包括主要的实验方法、常用实验仪器的正确使用、实验记录、数据处理等内容,目的是让学生上大学就能受到正规的实验训练,能按照实验数据处理的正规要求去做,能掌握一些基本实验技能和实验方法,为以后的科学研究活动打下坚实的基础。

全书共 41 个实验项目,按实验的特点分为基础性实验、综合与应用性实验、设计性实验三部分,适当地增大了综合性及设计性实验的比例,主要是针对工科院校教学的特点,增加物性的测量,以提高学生分析问题和解决问题的能力。

每个实验开始都用少量篇幅作了概述,介绍了其理论或工程上的意义、应用范围及实验特点,以便让学生了解它的应用价值。大部分实验后都设有思考题,提出了若干与本实验原理、方法和数据处理等有关的问题,供学生在实验前或实验后完成,这将有助于学生对实验认识的提高。书中稍难的题目,供有余力的优秀学生学习参考。

本书由东北大学秦皇岛分校郭献章、穆松梅、张家生主编,参加编写的人员还有周红仙、刘芬娣、梁丽勤、景远。

在本书编写过程中,得到了学校各级领导的热情鼓励和大力支持,同时,一些兄弟院校的教材也为本书的编写提供了很好的借鉴,几个仪器厂家也为本书的编写提供了参考资料,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,实践经验不足,书中难免有不妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2015 年 7 月

物理实验课学生守则

一、每学期开课前各班学委必须先到物理实验办公室抄取本班实验课表，学生按课表进行实验预习和做实验。

二、要按时上课，迟到超过 5 分钟者，不得进入实验室。

三、学生进入实验室须带上本人学生证、事先写好的预习报告和记录实验数据的表格，经教师检查同意方可进行实验。

四、学生进入实验室后，要遵守如下规定：

1. 入室前要将鞋底擦净；入室后，书包要放在指定地点，不许放在实验台上。
2. 禁止喧哗，保持安静；保持实验室卫生。
3. 要集中精神听讲，不许在下面摆弄仪器或做其他小动作。
4. 操作前，首先检查器材是否齐全，如有短缺损坏，应立即提出，不许私自串用其他组的器材。

5. 使用电源时，如无特殊声明，必须经过教师或实验室工作人员检查线路后方可接通电源。

6. 要爱护实验器具，细心使用，严格遵守操作规程；对于其性能及使用方法还不甚了解的器具，切勿乱摸乱拧；转动旋钮时，动作要轻，切忌猛力转动；光学实验中，不许触摸光学表面。实验器具如有损坏，应立即报告实验室工作人员，如系学生违规造成，需照章赔偿。

7. 实验中，要保持实验台稳定，不使其受到震动或严重变形。

8. 仪器设备出现故障时，应立即停止实验，并报告指导教师，在教师指导下，设法排除故障，培养分析问题和独立工作的能力。

9. 做实验时要一丝不苟，精心操作，仔细观察，积极分析思考，如实记录实验数据。做完实验，应将仪器整理还原，将实验台面和凳子收拾整齐。经教师审查测量数据和仪器还原情况并签字后，方能离开实验室。未经教师签字的测量数据不生效。

10. 实验失败或误差超限时，应重做实验。

学生必须严格遵守上述有关规定，服从指导，态度要端正。否则，指导教师和实验室工作人员有权停止该生做实验。

五、要忠实于测量数据，实事求是，不许人为假造或抄袭他人的数据，一经发现，严肃处理。

六、实验报告（连同经过签字的记录纸）在实验后一周内交实验室，否则酌情降低实验成绩。

七、对于不合格的实验报告，发回后要重做，否则该次成绩按不及格处理；如有特殊原因缺课，期末前，要将所缺实验补齐，补实验的时间，请与任课老师联系确定。

目 录

绪论	1
第1章 物理实验中的基本测量方法与常用物理量的测量	3
1.1 物理实验中的基本测量方法	3
1.2 长度的测量和量具量仪	5
1.2.1 米尺	6
1.2.2 游标尺	6
1.2.3 数字显示卡尺	8
1.2.4 千分尺 (螺旋测微计)	9
1.2.5 移测显微镜	10
1.2.6 测微目镜	11
1.3 质量的测量及仪器	13
1.3.1 物理天平的结构及其主要参数	14
1.3.2 天平的级别与砝码的精度	15
1.3.3 物理天平的调节和使用	17
1.4 时间的测量及仪器	18
1.4.1 停表	18
1.4.2 多用计数器	20
1.5 角度的测量	20
1.6 温度的测量及仪器	21
1.6.1 温度计的制作原理和定标	21
1.6.2 常用温度计简介	22
1.7 电流、电压和电阻的测量	25
1.7.1 电流的测量	25
1.7.2 电压的测量	28
1.7.3 电阻的测量	28
1.7.4 多用表 (万用表)	32
1.7.5 电表的使用和注意事项	34
1.8 实验室常用电源与光源	35
1.8.1 电源	35
1.8.2 标准电池	35

1.8.3 光源	36
第2章 误差、不确定度及有效数字	39
2.1 测量与误差	39
2.1.1 测量及测量误差	39
2.1.2 测量误差分类及其处理	41
2.2 测量不确定度和测量结果的表达	44
2.2.1 测量不确定度的概念	44
2.2.2 测量不确定度的评定	45
2.2.3 扩展不确定度	46
2.2.4 测量结果表达	46
2.2.5 测量数据计算与测量结果表达举例	47
2.3 有效数字及其运算	49
2.3.1 有效数字的概念	49
2.3.2 有效数字的运算规则	51
2.4 常用数据处理方法	52
2.4.1 列表法	52
2.4.2 作图图解法	52
2.4.3 逐差法	54
2.4.4 最小二乘法和一元线性回归	56
附录 实验报告示例	58
第3章 基础物理实验	62
实验1 示波器的原理及应用	62
3.1.1 示波管的基本结构及作用	62
3.1.2 示波器控制电路及其功能	64
3.1.3 示波器的应用	72
实验2 分光计的调整	75
实验3 金属杨氏弹性模量的测定	80
3-I 静态拉伸法	80
3-II 动态悬挂法	86
实验4 旋光实验	91
实验5 扭摆法测定物体的转动惯量	95
实验6 霍尔效应实验	100
实验7 用双臂电桥测低电阻	105
实验8 用电位差计测量电动势	108
实验9 铁磁材料的磁化曲线与磁滞回线	116
实验10 等厚干涉的应用——牛顿环、劈尖	127
实验11 衍射光栅	134

实验 12	测量玻璃三棱镜的折射率	138
实验 13	光强的分布	141
第 4 章	综合与应用性实验	145
实验 14	光栅光谱仪的原理与应用	145
实验 15	波尔共振实验	149
实验 16	密立根油滴实验	158
实验 17	迈克耳孙干涉仪的应用	168
实验 18	超声波传播速度的测量	172
实验 19	光电效应测定普朗克常数	181
实验 20	夫兰克-赫兹 (F-H) 实验	187
实验 21	脉冲核磁共振原理及应用	191
第 5 章	设计性物理实验	198
5.1	设计性物理实验简介	198
5.1.1	物理实验的现状	198
5.1.2	开设设计性物理实验课的目的	198
5.1.3	设计性物理实验的选题	199
5.1.4	设计性物理实验的教学要求	199
5.1.5	设计性物理实验的教学方式	199
5.1.6	设计性物理实验过程	199
5.1.7	实验方案的选择和实验仪器的配套	199
5.2	设计性物理实验项目	201
实验 22	用惠斯通电桥测电阻	201
实验 23	非线性电阻特性的研究	201
实验 24	电表的改装与校准	202
实验 25	表头内阻的测定	203
实验 26	设计和组装欧姆表	204
实验 27	细丝直径的测定	204
实验 28	物体密度的测定	205
实验 29	自组电桥测电阻	205
实验 30	用电位差计校准电流表	206
实验 31	温差电动势的测量	206
实验 32	色散曲线的测量	207
实验 33	薄透镜焦距的测定	207
实验 34	衍射光栅测狭缝宽度	208
实验 35	测金属杆的线膨胀系数	209
实验 36	偏振现象的实验研究	209
实验 37	设计和组装热敏电阻温度计	210

实验 38	用三线摆测物体的转动惯量	211
实验 39	用箱式电桥测热敏电阻的温度系数	211
实验 40	激光全息照相	212
实验 41	全息光栅的制作	212
附录 A	物理实验用表	214
附录 B	相关实验仪器说明与软件操作指导	225

绪 论

物理实验是理工科学生进入大学以后所开设的第一门基础实验课,这门课程的重要性不仅在于物理学是一门实验科学,更重要的是通过物理实验使学生学到实验知识,提高实验技能,掌握研究方法,全面地培养学生分析问题和解决问题的能力,为以后的科学研究工作打下坚实的基础。

一、物理实验的重要性

物理学是以实验为基础的科学。无论是物理规律的发现还是物理理论的验证,都离不开实验。例如,赫兹的电磁波实验使麦克斯韦的电磁场理论获得普遍承认,杨氏干涉实验使光的波动说得以确立,卢瑟福的 α 粒子散射实验揭开了原子的秘密,近代高能粒子对撞实验使人们深入到物质的最深层——原子核和基本粒子——的内部来探索其规律,等等。即便是爱因斯坦的相对论理论,在创建半个世纪后才接受实践的检验,在此之前并不能得到认可,而理论物理大师史蒂芬·霍金的量子引力论也必须用天文观测的数据来验证。所以,没有实验检验的理论不是真正的理论。

在物理学三百多年的发展历程中,实验起到了决定性的作用,它是人们发现新事实、探索新规律的开路先锋。例如,黑体辐射实验、固体比热容的测定和迈克耳孙-莫雷实验等最终导致了一场物理学的革命,由此量子力学和相对论才得以建立。同时,理论是物理学的主体,而实验是校验物理学理论的必要手段。例如,李政道和杨振宁博士所提出的在弱相互作用下的宇称不守恒定律,是由“当代物理执政女王”吴健雄博士做了实验验证,使李和杨的理论得以确立,并荣获了诺贝尔物理学奖。科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,同时也是工程技术的基础,各种发明创造,诸如电灯、雷达、制冷机、光纤、正负电子对撞机、人体核磁共振成像仪、原子能、半导体、激光、高温超导材料等最新科技成果,无一不是实验的产物,而且都是经过大量的实验研究才逐步完善的,实验给人类带来的经济效益和社会效益是无法估量的。

二、物理实验课的目的

1. 通过对实验现象的观察分析和对物理量的测量,学生逐步掌握物理实验的基本知识、基本方法和基本技能;并能运用物理学原理和物理学方法研究物理现象和规律,加深对物理学原理的理解。

2. 培养并提高学生的科学实验能力。其中包括:

- (1) 自学能力,能够自行阅读与钻研实验教材或资料,做好实验前的准备;
- (2) 实践能力,能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器;
- (3) 书写表达能力,能够正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告;
- (4) 思维分析能力,能够运用物理学理论对实验现象和实验结果进行初步的分析判断;

(5) 实验设计能力,能够完成简单的设计性实验。

3. 培养与提高学生从事科学实验应具备的素养:不怕困难、主动进取的探索精神;严肃认真、一丝不苟的工作态度;理论联系实际、实事求是的科学作风;遵守纪律、爱护公共财产的良好品德;相互协作、共同探索的协同心理。在科技工作中,要有所发现、有所发明、有所创造、有所前进,缺少这些素养是很难成功的。

物理实验课这门实践性课程,要求学生在独立工作的过程中增长知识、提高能力,因而,上述教学目的能否达到,很大程度上取决于学生自己是否努力。

三、物理实验课的基本程序

1. 实验前的预习。通过阅读实验讲义和有关的参考资料,弄清实验的目的、原理以及所使用的仪器,明确测量方法,了解实验的主要步骤及注意事项等。在此基础上写出预习报告,并在单独的一张纸上绘制记录数据表格。

预习报告是正式报告的一部分,必须在专用的实验报告纸上认真撰写(不许用红笔或铅笔),要求字体工整、文字简练、内容全面。内容包括:①实验名称;②实验目的;③实验器材;④实验原理,在“原理”部分,只要求写清主要概念、建立测量公式的依据、原理图、测量公式的形式以及图上所标注的字母的意义,不要求写测量公式的推导过程;⑤实验步骤,这部分应突出关键性的调整方法和测量技巧,其他内容只要求简单列出。

2. 实验操作。遵守“物理实验课学生守则”;实验过程中要按实验步骤进行,认真观察现象,注意进行分析判断,正确地、实事求是地读取和记录测量数据;实验中若发现问题,应及时向教师请教,不得随意处理;实验完毕,将仪器、凳子归整好,实验数据经教师签字后方能离开实验室。

3. 完成实验报告。实验报告是实验工作的总结,也是实验成果的书面反映。报告中应有清晰的思路、齐全的数据图表以及科学的结论。

如果预习报告的书写合乎要求,可以在此基础上继续完成下述内容。

(1) 数据处理。这是实验报告的重点,首先将实验室所给的数据或查到的数据列出,再将记录纸上的原始数据以表格的形式正式列在“数据处理”栏目下,然后写出数据处理的主要过程(例如计算时要有数字表达式)、图线、结果、误差估算以及结果表达式。

(2) 分析讨论。要养成对实验结果进行分析的习惯,特别是当结果误差较大或测量值偏离标准值较大时,应分析其原因,找出实验中存在的不足;还包括分析讨论实验中存在的异常现象、影响测量结果的主要因素、对实验方案的评述及改进意见,等等。内容不受限制,但一定要中肯、具体、实在,不要硬凑。

第1章 物理实验中的基本测量方法与常用物理量的测量

物理学是一门实验科学,物理实验是发现物理规律、形成理论的基础。可以毫不夸张地说,没有物理实验的进步就没有物理学的发展。正是由于实验思想和方法的不断创新,实验仪器和设备的不断改进等,才使人类对物理世界的探索和对物理规律的认识不断深入。实践证明,每当实验上有新的发现或者实验方法、测量精度上有新的突破时,原有的理论都要重新受到验证、检验或修正,从而推动整个物理学的发展达到一个新的高度。

任何物理实验几乎都离不开对物理量的测量。正是对各种物理现象的观察,对各种物理量的测量,对测量数据的分析、处理、归纳、抽象才上升成了物理理论。在实验物理学中,对各种物理量的研究和测量已经形成了自身的理论和卓有成效的测量方法。它们不但对物理学的发展起到了巨大的推动作用,而且这些理论和方法还有其基本性和通用性,对其他有实验的学科的研究无疑也是极具价值的。本章将介绍物理实验中的基本测量方法、常用物理量的测量和常用测量仪器。

物理量可以分为基本量和导出量。原则上讲,一切导出量都可以由基本量导出。根据国际计量大会决议通过的国际单位制(SI)规定,长度、质量、时间、电流、热力学温度、发光强度和物质的量7个物理量为基本物理量,平面角和立体角为辅助基本物理量。这些基本物理量的定量描述只有通过测量才能得到。随着科学技术的进步,物理量的各种各样的测量方法逐步建立起来,并且愈来愈科学,愈来愈先进。其中,最基本、最常用的测量方法有比较法、模拟法、放大法、补偿法、干涉法、转换法和示波法等。

1.1 物理实验中的基本测量方法

1. 比较法

比较测量法是物理实验中最基本、最常用、最重要的测量方法。其要点是:首先确定与被测量为同类量的一个单位量,将此单位量作为标准,然后将被测量与此单位量进行比较,求出它们的倍率而得到测量结果。单位量必须是公认的,若被测的量是基本量,则单位量应是国际计量大会规定的单位。例如,用做长度标准的“米”、质量标准的“千克”等。

比较法可以分为直接比较和间接比较。我们用米尺测量某工件的长度,就是以“米”的千分之一即毫米作为单位量的,将工件的长度和毫米进行直接比较,若其倍率为 L ,则得到该工件的长度是 L 毫米。又如,用分光计测平面角、用停表测时间等都是用的直接比较测量法。

当一些物理量难以用直接比较法测量时,可以利用物理量之间的函数关系将待测物理量与同类标准量进行间接比较。例如用惠斯通电桥法测电阻,就是利用电桥电阻间的函数关系将待测电阻与标准电阻进行间接比较的。

2. 模拟法

模拟法利用了自然界中某些现象或过程存在的相似性。所谓相似性,是指两个现象或过

程的数学模型相同,服从相同的规律,若边界条件和初始条件相同,则它们的解是唯一且相同的。模拟法就是把两个具有相似性的现象或过程中的一个进行研究,得到结果,去代替另一个研究结果。

模拟法的优点是能够用易于观测的现象或过程的研究去模拟与之相似的另一个难于观测的现象或过程,对某些物理参量解决了可测性的问题,因而在实验中得到愈来愈广泛的应用。例如,研究静电场问题时,一般要用电场强度或电位分布来描述,但直接测量这些参量是很困难的,因为任何测量仪器的探测器一旦进入静电场,由于感应电荷的产生,必然会引起电场分布的改变。如果用稳恒电流场来模拟,便可测得相应静电场的分布情况。又如,在几何相似和力学相似的条件下,可以把飞机缩小成模型,放在风洞中进行实验,从而获取飞机原型的许多重要特性。

在计算机技术迅速发展的今天,采用适当的数学模型还可以把一个物理系统用一定的计算机程序来代替,进而在计算机上进行实验,这种方法被称为计算机模拟。

3. 放大法

在物理量的测量中,常遇到一些微小量或微小改变量难于直接测量或直接测量精度不高的现象,这时常采用放大法进行测量。常用的放大法有积累放大、机械放大、光学放大和电信号放大等。

在物理实验中,往往由于仪器精度或观察者反应能力的限制,单次测量的误差很大,采用积累放大法测量,可以有效地减小测量误差。例如,单摆实验中不是测一个周期,而是测 50 ~ 100 个周期的时间,光的干涉实验中往往要求测几十条条纹之间的总间距,所用的都是积累放大的方法。

机械放大法是指将测量仪器的读数机构细分,从而提高测量精度的方法。用游标卡尺或千分尺测长度,利用的就是机械放大法原理。

光学放大的常用仪器有放大镜、显微镜、望远镜等,许多精密仪器都在最后的读数装置上加装这类视角放大装置以提高测量精度。光学放大法无接触测量,因而具有不破坏被测物体原有状态的优点。

随着微电子技术和电子器件的发展,各种电信号的放大都很容易实现,把弱电信号放大几个甚至几十个数量级已不再是难事,因而电信号放大法应用更加广泛和普遍。它不仅用于对电学量本身的测量,而且往往把其他物理量也转换为电信号放大后进行测量。三极管是各种测量中最常用的电信号放大器件。

4. 补偿法

通过调整一个或几个与被测物理量有已知平衡关系的同类标准量,去抵消被测物理量的作用,使系统处于补偿状态(即平衡状态)。处于补偿状态的测量系统,被测量与标准量之间有确定的关系,由此可测得被测物理量。这种测量方法称为补偿法或平衡测量法。例如在电势差计中,利用已知电压抵消待测电压,在电路中电流为零的状态下测量电压,消除了用电压表直接测电势差时流经电压表支路电流对测量的影响。天平测质量、平衡电桥测电阻也利用了补偿法原理。此外还有各种各样的补偿,如温度补偿、光强补偿等。

补偿法的特点是测量中包含标准量具,同时还有一个示零仪表,测量时要使被测量与标准量之差为零,这个过程叫做补偿操作或平衡操作。补偿操作往往比较复杂,但可以获得精度较高的结果。

5. 干涉法

众所周知,凡是频率相同、具有确定的相位关系的同类波在相遇时,就会产生相干叠加,形成干涉花样。干涉法就是利用波的干涉现象,通过对干涉花样的观测来间接测量一些物理量的测量方法。例如,在等厚干涉实验中,我们用干涉来测量微小厚度、微小直径、透镜的曲率半径等;在迈克耳孙干涉实验中,我们用干涉法来测光的波长,研究光源的相干性等。利用干涉法还可以检查工件表面的平面度、球面度、光洁度,以及精确地测量长度、厚度、角度、形变、应力等。干涉测量已形成科学分支,称为干涉计量学。

6. 转换法

转换测量法是通过传感器将一种物理量转换为另一种物理量来进行观测的方法。它不仅在物理实验测量中经常被采用,而且在工农业生产、交通运输、国防军事、遥测遥感、航天和空间技术等各个领域都有着十分广泛的应用。

转换测量法中应用最多的是非电量的电测法和非光学量的光测法。

由于电流、电压易于测量和处理,而且可以达到很高的测量准确度,所以通过传感器将其他物理量转换为电流、电压或电阻进行测量,已成为一种很常用的测量方法。最常见的有:利用光敏元件(如光电池、光电管等)将光信号转换为电信号进行测量;利用磁敏元件(如霍尔元件、磁记录元件等)将磁学参量转换为电学参量进行测量;利用压敏元件或压敏材料(如压电陶瓷、石英晶体等)的压电效应,将压力转换为电信号进行测量,等等。

由于光学量的测量具有灵敏度高、无损伤、不用接触被测物和即时性等优点,所以将非光学量转换为光学量进行测量的非光学量的光测法在实验中得到了广泛的应用。例如,用光纤传感器测量温度、压力、形变、电容等。

在转换测量中,传感器往往是最关键的器件,因此对传感器的研究是一项重要的工作。

7. 示波法

通过示波器将人眼看不见的电信号在示波管的荧屏上转换成形象直观、清晰可见的图像,然后进行测量的方法称为示波法。将此法与各类传感器结合,就可以对各种非电学量进行测量。

以上对物理实验中常见的几种基本测量方法作了简要介绍。实际上,在物理实验中这些方法往往是相互交叉、相互配合的。所以,在实验时应认真思考所进行的实验应用到了哪些测量方法,有意识地使自己对物理实验的基本思想、基本方法有更多的了解。

1.2 长度的测量和量具量仪

长度是7个基本物理量之一,也是3个基本力学量中的一个。长度的计量方法是取一个标准长度作为长度的计量标准,称为单位量。物体的长度即为它与这个单位量之间的倍率与其后附上的单位。在国际单位制(SI)中,长度的基本单位是“米”。

为了适应科学技术的迅速发展,“米”的定义经历了数次更新,其准确度愈来愈高。最早的“米”定义为经过巴黎的子午线的四千万分之一。1889年19个国家开会议定以“米原器”为基准,定义1米为在用Pt做成的X形横截面的尺子上两条刻线之间的距离,其精度可达 10^{-6} 。1960年国际计量大会废除了“米原器”,重新定义1米等于 Kr^{86} 原子的 $2p^{10}$ 和 $5d^5$ 两能级之间跃迁所发射电磁波在真空中波长的1650763.73倍,这样定义,“米”的精度可达 $5 \times$

10^{-9} 。1983 年 10 月国际计量大会通过决议,承认米定义咨询委员会在 1979 年 6 月提出的以时间定长度的建议,规定“米”的长度等于平面电磁波在真空中每 $1/299792458\text{s}$ 内所传播的距离。现在各国均采用此定义,且可表示为 $1\text{米}=1\text{m}$ 。

长度的常用单位还有毫米($1\text{mm}=10^{-3}\text{m}$)、微米($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)、纳米($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)、皮米($1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$)、千米($1\text{km}=10^3\text{m}$)、兆米($1\text{Mm}=10^6\text{m}$)、吉米($1\text{Gm}=10^9\text{m}$)和光年等。

长度的测量具有基本性和普遍性,在生产和科学实验中需要大量的长度测量。在仪器中,除数字显示仪表外,几乎所有的其他仪表最终也转化为长度进行读数,所以长度测量在测量中尤为重要。

长度测量的基本方法是比较法。通过各种各样的量具量仪,提供不同精度的单位量,让被测量分别与这些单位量进行比较,得到具有不同精度的长度测量值。常用的量具量仪有米尺、游标尺、千分尺、移测显微镜、测距仪和比长仪等。此外,测量长度的方法也比较多,常用的有放大法、衍射法、干涉法、转换法和莫尔条纹技术等。下面介绍几种常见的长度量具量仪。

1.2.1 米尺

米尺是最简单、最常用的测长量具,它分为直尺和卷尺。它们的最小分度值是 1mm ,测量时可估读至 0.1mm 。较准确的米尺是用较稳定的受环境影响小的材料,如不锈钢、钢、铁镍合金等制成的。

用米尺测量长度时,要让被测物体紧贴米尺,一端与米尺的零刻线对齐,另一端面正投影在米尺上得到一线段,此线段与米尺相交,即可读出在米尺上的刻度数。

注意:应以毫米为单位读一位小数。

1.2.2 游标尺

这里介绍的游标尺系指测长的游标尺,又称为直游标尺或游标卡尺。它由主尺和附在米尺上一段能滑动的副尺(游标)构成。主尺是米尺的刻度,副尺上常用 10、20 或 50 个分格,它是一种比米尺精确的测长量具,可用来测量物体的长度、内径、外径和测量孔的深度等。

常用游标尺的量程是 $0\sim125\text{mm}$ 。

1. 构造

直游标尺的构造如图 1-1 所示。A 是主尺, B 是游标, CE 是与主尺相连的固定量爪, DF 是和游标固连的活动量爪,它们与固定量爪一起组成测量卡口(钳口和刀口),螺丝 H 用来锁定游标。钳口 E、F 用来测量内径,刀口 C、D 用来测量长度和外径, G 用来测量深度。

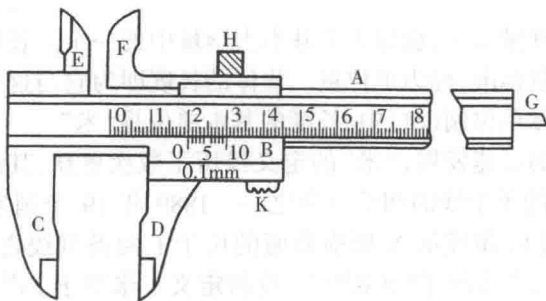


图 1-1 测长游标尺的构造

2. 原理

设游标上每个分格的长度为 L_n , 共有 n 个分格; 主尺上每个分格的长度为 L_m ; 游标上 n 个分格的长度和主尺上 $n-1$ 个分格的长度相等, 即

$$nL_n = (n-1)L_m \quad (1-1)$$

于是游标上每个分格的真实长度为

$$L_n = \frac{n-1}{n}L_m = \left(1 - \frac{1}{n}\right)L_m \quad (1-2)$$

若用 a 表示主尺上一个分格与游标上一个分格的长度之差, 则

$$a = L_m - L_n = \frac{1}{n}L_m \quad (1-3)$$

式(1-3)中, a 为游标尺准确读数的最小单位, 即游标上一个分格的读数值, 它由 L_m 和 n 决定。例如, $L_m = 1\text{mm}$, 当 n 分别为 10、20、50 时, 游标上一个分格的读数值分别为 0.1mm, 0.05mm, 0.02mm。

如图 1-2 所示的两种游标尺, 游标分格数均为 20, 但主尺分别为 19mm 和 39mm, 等分为游标的 20 倍。显然, 它们的最小分度值均为 0.05mm。

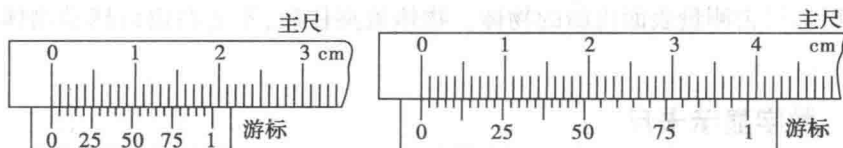


图 1-2 两种二十分游标尺

3. 测量和读数

如图 1-3 所示, 使用 n 分度游标测量某物体长度 L 时, 若游标的零刻线过主尺的第 k 条刻线, 游标的第 m 条刻线与主尺的某一刻线对准, 则游标(副尺)的读数为

$$\Delta L = m \frac{L_m}{n} \quad (1-4)$$

物体的长度为

$$L = kL_m + m \frac{1}{n}L_m = \left(k + \frac{m}{n}\right)L_m \quad (1-5)$$

测量时, 根据游标零刻线所对主尺的位置, 可在主尺上读出毫米位的准确数, 毫米以下的尾数由游标读出, 如图 1-3 所示。测量一般分三步进行。

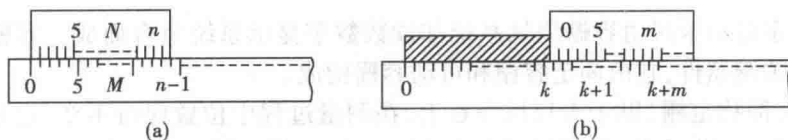


图 1-3 游标尺的读数

(1) 读整数。读出游标零刻线的左边主尺上最近的刻线数值 m 。

(2) 读小数。看游标上零刻线的右边游标上的第 m 条刻线与主尺上的刻线对齐, 将对齐

的刻线 m 与最小分度 a 相乘, ma 即为小数部分 $\frac{m}{n}L_m$ 。

(3) 根据式(1-5)得出最后的测量结果。为了便于读数,二十分游标在游标上刻有 0、25、50、75、1 等标度。如游标上第 5 条刻线与主尺刻线对齐,则读数的尾数 $5a=0.25(\text{mm})$,并可直接读出。二十分游标的估读误差 ($<\frac{1}{2}a$) 可认为在百分之一毫米位上,如读数等于 10.75mm ,就不能再在后面加“0”。

4. 注意事项

用游标卡尺测量之前,应先将卡口合拢,检查游标尺的零刻线与主尺的零刻线是否对齐。如不能对齐,则应记下零点读数,予以修正。

测量外尺寸时,则应先把卡口开得比被测尺寸稍大;测量内尺寸时,钳口开得比被测尺寸稍小,然后慢慢推或拉游标,使刀口(或钳口)轻轻地接触被触件表面。测量内尺寸时,不要使劲转动卡尺,可轻轻摆动,以便找出最大值。

用游标尺测量时,用力的大小应正好使量爪刚好能接触被测物表面。若用力过大,量出的尺寸会偏小,而且易损坏刀口。

不得用游标尺去测量表面粗糙的物体。物体被夹住后,不要在钳口挪动物体,以免磨损卡口。

1.2.3 数字显示卡尺

随着传感技术和大规模集成电路技术的发展,目前已出现了数字化长度测量器具。电子数字显示卡尺就是其中之一,其结构如图 1-4 所示。

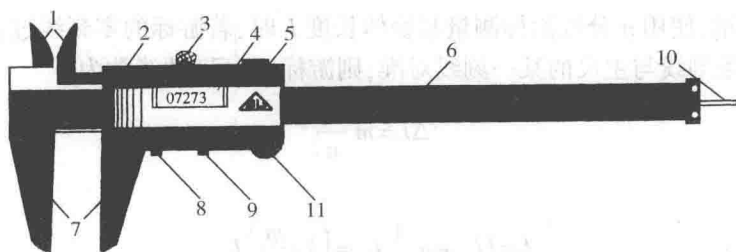


图 1-4 数字显示卡尺

1—刀口内量爪;2—尺框;3—制动螺钉;4—显示器;5—数据输出端口;6—尺身;
7—外量爪;8—公、英制转换按钮;9—置零按钮;10—深度尺;11—更换电池盖板

有一种数字显示卡尺由容栅测量系统和读数数字显示系统组合而成。容栅传感器是数字显示卡尺的关键器件,它由固定容栅和可动容栅构成。

固定容栅(简称定栅)贴于卡尺尺身 6 上,在测量过程中位置保持不变,它是测量的基准部件。可动容栅(简称动栅)用螺钉固定在尺框 2 内,它是在测量过程中与尺框一起发生位置变动的测量元件。定栅和动栅组成容栅副,即通常所说的容栅传感器。如图 1-5 所示,定栅栅片为有规律排列的铜片,其节距为 $D=5.08\text{mm}$,其中公共板和独立的定栅片宽度各为总宽度的一半,即 2.54mm 。动栅片和定栅片一样,也是有规律排列的铜片,节距 $d=D/8=0.635\text{mm}$ 。如图 1-6 所示,每块动栅由 48 片独立的栅片构成,对应定栅的 1 个节距有 8 个动