



高等学校教材

Textbook for Higher Education

物理学实验教学导引

(成教工学·高职高专)

李寿岭 编
宋 青



西北工业大学出版社
<http://www.nwpu.com>

物 理 学 实 验 教 学 导 引

(成教工学·高职高专)

李寿岭 宋 青 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是物理学（成教工学·高职高专）系列教材之一。

在内容安排上，放弃了传统的以实验选题为顺序的模式，而是根据成教工学和高职高专实验教学要求，把培养学生的实验能力和方法作为主线，全书分五个专题：一、实验概论，二、测量误差与数据处理，三、测量技术，四、测量方法，五、综合实验。每一专题都配有若干相关实验，每个实验又都有多种方案，便于教师根据实验条件安排教学，且利于学生自学。附录中还收集了大量资料。

本书适用于成教工学本、专科和高职高专物理实验课作教材使用，也可供普通高等学校师生和从事科学实验的科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学实验教学导引/李寿岭等编. —西安：西北工业大学出版社，2002.3

ISBN 7-5612-1454-5

I. 物… II. 李… III. 物理学-实验-高等学校：技术学校-教学参考资料 IV.04
-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 009906 号

出版发行：西北工业大学出版社

通信地址：西安市友谊西路 127 号 邮编：710072 电话：029—8493844

网 址：<http://www.nwpup.com>

印刷者：长安第二印刷厂印刷

开 本：787 mm×1 092mm 1/16

印 张：7.25

字 数：169 千字

版 次：2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

印 数：1~5 000 册

定 价：10.00 元



主 编 简 介

李寿岭

1961年毕业于西安交通大学工程物理系，曾任西安交通大学物理实验室主任、陕西省物理学会实验专业委员会和西北地区实验协作组负责人。从事大学物理实验教学和研究逾40余年，设计的实验项目风格独特，颇有新意。编著相关教材、著作多种，撰写研究论文多篇，并在联系工程实际方面做出了突出的贡献。



宋 青

1987年毕业于兰州大学物理系，现任兰州铁道学院物理教研室主任，全国高等理工院校成人教育研究会物理学科委员会委员。主要著作有《大学物理》（中国石化出版社），发表科研与教学研究论文多篇，有的被SCI收录。2000年获甘肃省优秀教学成果奖。

前 言

物理实验的目的，大体有两个方面：① 为获得某一物理量的量值；② 为研究某一物理现象（物理过程）的客观规律，以建立或检验相应的解析方程。但对高等工程教育的物理实验课程而言，其主要任务在于使学生受到良好的实验基础训练，提高实验技能，能够独立、正确地完成教学基本要求规定的基本实验内容，并通过较为系统的实际操作，了解和掌握如何完成一个实验任务的系统知识，写出较为规范的实验报告。

至于相关的教材，近 20 年来，许多普通高校都对原有教材在内容、体系等方面做过各种修改的尝试，并取得了可喜的成果，促进了教学效果和教学质量的提高。但由于成人教育的特殊性，完全采用这类教材就有一定困难。于是，如何顾及不同生源和不同的教学条件，编写一本适应性更广，且能很好地完成教学基本要求规定的教学目标的参考教材，就提到教改日程上来了。为此，我们受全国高等理工院校成人教育研究会物理学科委员会委托，根据成教工学物理学的系列教材规划，承担了本书的编写工作。

本书不同于一般的实验讲义，其主要特色有以下几点。

一、充分考虑成教特点及现状

近几年来，成人高等教育发展很快，普通高校的成教院在原有夜大、函授班的基础上，增加了大量的本、专科脱产班；部分院校的函授教学正向网络教学过渡；高职高专学院和民办高校大量涌现。但是，由于观念与认识的差异，加上实验条件的限制和在时间、地址上的分散性与间断性，操作性实验往往集中在短期内完成，对自学的要求较高，否则，难以达到教学基本要求。为此，本教材在体系上着力把相关的理论知识相对集中，并以一组实验选题串起来，形成一个系统完整的独立单元或专题。这不仅有利于教师根据实际条件组织教学，也便于学生分段掌握。在内容的编写上，又考虑到成人高校的部分学生一般有较多的生产、生活和社会实践，动手能力也较强些，因而尽可能地留有余地，并且涉猎面也广一些，可供不同情况的学生选择。有些内容甚至可以留待日常工作和生活实践中去完成，这会促使他们能够更主动地充分发挥各方面有利条件，实现并巩固相关的教学要求。

二、突破传统实验教材以实验为序的编写模式

传统实验教材都是以具体实验为序编写的，本书则从培养学生实验素养和技能出发，以采用“专题”模式编写，每个专题包括了相关的理论知识和一组实验。全书共列出五个专题。

第1专题 实验概论

这是专为初学者确切了解物理实验的全过程而写的。它概括地介绍了完成一个物理实验所必须经历的各主要阶段的内容、特点及与之相应的要求,以便读者在一开始就对物理实验有一个全局的认识。

第2专题 测量误差与数据处理

本专题从数据的采集入手,通过一组实验来了解如何正确获得实验数据,并根据不同的要求,学习和掌握数据处理的基本知识。在此基础上,完成一份合格的实验报告。

第3专题 测量技术

本专题通过一组非直接测量的实验,学习和掌握在一个实验中如何选配仪器和器材;从技术和经济比较两个方面了解如何合理地配置仪器设备,以确保实验工作的正常进行和实验结果的有效性。

第4专题 基本测量方法

随着科学技术的进步,各种新颖的实验方法层出不穷。但它们都是从一些最基本的实验方法演变发展而来的,就是说,只有在掌握最基本的实验方法的基础上,才有可能掌握并灵活应用一些高新技术。为此,本专题通过一组易于理解和掌握的典型实验,来介绍这些基本知识。

第5专题 综合实验

在本专题中,安排了一些综合应用的实验,把前面各专题的内容有机地组合起来,使之系统化,并尽可能地分析其优缺点,以期能从不同的角度进一步认识和掌握有关内容,为进一步探求更新更高的知识做好准备。

三、附录中引用了丰富的资料供查阅

为了更有效地进行实验和处理数据,本教材在附录中列出了法定计量单位、常用数据、常用仪器的使用知识等。这些内容的来源分别是国家标准,厂家提供的说明书,计量检测规程和相关手册。除了便于使用外,还希望让读者建立与此相关的法制概念,即国标和计量法规的强制性。对说明书及有关数据要了解其参考性和对比使用的知识。这些资料在本教材中均是原文摘抄,未进行任何加工和解释,以培养读者检索、查询及阅读科技文献的能力。

同时,在附录中还摘录了教育部颁布的物理实验教学基本要求,以使院校主管领导、任课教师和学生明确教学目标并努力去实现这些目标。

诚然,教材建设应与科技进步并肩前进,且永无止境,而本教材主要涉及的只是一些基础知识。它的形成亦非编者独创,而是近20年来与各校同行和师生共同探讨的汇集。由于编者水平所限,表达难于全面,尤难避免过多的个人管见之弊,不妥之处企望指正。还是牛顿说的好:“譬如一个拦路的石头,也许它用心极好,但仍要一脚把它踢开,这就是真理。”希望和选用本教材的师生及其他读者一起,在教学实践中共同踢掉那些绊脚的石头,让我们的成人教育事业更好、更快地健康发展。

编者衷心感谢全国高等理工院校成人教育研究会物理学科委员会的支持与关怀。衷心感谢物理学科委员会顾问严导淦、唐光裕、徐绪笃教授等的教诲,徐绪笃教授还对本

书逐字进行了审阅与修改。

编者以沉重的心情，缅怀师长胡昌壁先生，并以此书表示崇高敬意。

由于编者水平所限，加上本书体系尚属一种改革尝试，难免存在一些不妥甚至错误之处，敬请予以指正。

编 者

2001 年仲夏于西安

目 录

第一专题 实验概论	1
第一节 物理实验的目的	1
第二节 物理实验的准备	2
第三节 实验过程	3
第四节 实验报告	5
第二专题 测量误差及数据处理	6
第一节 物理量的测量	6
第二节 测量与有效数字	8
第三节 测量误差及其分类	9
第四节 测量误差的估算	11
第五节 实验结果的不确定度表示	13
第六节 直接测量结果的表示	14
第七节 间接测量结果的表示	15
第八章 实验结果的数据处理	16
第九节 实验 2.1 基本测量和误差计算	22
第十节 实验 2.2 观测实验数据的分布与随机误差计算	23
第十一节 实验 2.3 作图法练习	24
第三专题 测量技术	27
第一节 测量仪器的选配	27
第二节 测量仪器（装置）的调整	29
第三节 实验 3.1 物质密度的测定	35
第四节 实验 3.2 用单摆法测重力加速度	37
第五节 实验 3.3 小灯泡电阻的测定	38
第四专题 基本测量方法	41
第一节 放大法	41
第二节 替代法	43

第三节	零示法	44
第四节	模拟法	45
第五节	实验中的传感技术	46
第六节	实验 4.1 金属材料弹性模量的测定	47
第七节	实验 4.2 分压电路特性研究	51
第八节	实验 4.3 用惠斯通电桥测电阻及其温度系数	54
第九节	实验 4.4 用模拟法测绘静电场	57
第五专题	综合实验	59
第一节	实验 5.1 混合法测定固体物质的比热容	59
第二节	实验 5.2 交流电的整流与示波器的应用	62
第三节	实验 5.3 干涉测量(光测法的应用)	67
第四节	实验 5.4 分光计的调整与使用	69
第五节	实验 5.5 光电效应及其应用	74
附录一	法定计量单位	79
附录二	物理实验教学基本要求	84
2.1	全国成人高等教育工学(本科)大学物理课程教学基本要求——实验 教学	84
2.2	全国成人高等教育工学(专科)大学物理课程教学基本要求——实验 教学	85
2.3	高职高专物理实验课程教学基本要求	87
附录三	常用仪器简介	89
附录四	常用物理数据	101

第一专题 实验概论

第一节 物理实验的目的

实验是一个非常广义的名词。一般来说,凡是为了认识某一现象或其本质,获取某一研究对象的量值,或是为了寻找某种规律(包括验证某种规律或假说)而实施的一组工作过程,都可叫做实验。因为任何客观事物都有其内在的规律,进行某项实验也不例外,所以说,这就是科学实验。而这一工作过程可以涉及人文、社会、自然等各个科学领域,因而它是非常广义的。

物理实验是科学实验中一个分支,它只限于研究与物质运动相关的范畴,它和化学实验、生物实验等等同属自然科学,不仅与之有着密切的联系和明显的共性,同时也具有其特定的个性,突出表现在物理过程这个特点上。即物理实验的任务集中在探求物理量的量值和研究与建立物质运动规律这两个基本方面。

为了探求物理量的量值,其实验手续可以是非常简单的,例如,确定某一物体的线度;也可能很繁杂,例如要测定行驶的列车中某一车厢的质量;更有一些几乎是不可能的,例如求光速的绝对值。对于很简单的量,只要通过一次或若干次常规测量就可以得到,例如用米尺测桌子的高度,用天平称量某物体的质量等。而对于某些物理量,例如导体的电导率、材料的热传导系数、固态物质的弹性模量等,则要进行一组繁杂的测量和计算才能得到。

为了寻找或确定某物理量在一定条件下的变化规律,是物理实验的另一任务。例如为了确定硅光电池在不同的光照条件(包含光的不同强度和不同频率)下的光电特性,就必须进行一定数量的实验和大量的数据处理,才能建立起光电动势与光强度(频率一定)或光电动势与光源频率(强度一定)之间的函数关系。

本教材所讨论的内容,仅限于在常规条件下对物理量的计量和物理量变化规律这两个方面。所涉及的计量仪器和实验方法,也只限定在这个范畴之内。

对于单纯为了确定量值的实验,应该考虑的是:在任务要求的条件下,选用最简单的仪器和方法,因为选用的仪器和方法越复杂,需要的条件就愈多,当然引起误差和变化的量也就愈大,虽然其结果看似很精确,而其不确定度反而可能更大。这是应该特别注意的。

对于研究物理规律的实验,首先是根据任务要求,科学而又真实地再现这一物理过程,或者建立一个恰当的物理模型。这就牵扯到实验方法和与之配套的仪器的选择。因此,应当先把可能实现这一过程的多种方案列出来,在进行技术上和经济上的比较之后,才予以确定。甚至可能多次反复才能最后确定。

第二节 物理实验的准备

一、样品的认定与物理模型的选择

在对实验任务的要求进行仔细分析和研究之后,如果它是一个或几个简单的常规量的测量,那么只要明确试样的确认就可以了。若是较复杂的物理量或是探究某种规律性的要求,那就要首先考虑建立什么样的物理模型,常简称为建模。例如,我们要研究某液态物质在不同温度下的粘度,亦即要找出该液态物质的粘度随环境温度(或自身温度)变化的关系。而由于测量液体粘度方法很多,到底选用哪一种方法来再现这一过程,才能既满足任务所要求的精度,又简捷经济呢?这就需要作多方面的考查,全面权衡利弊才能定夺的。因为与此相关因素是很多的,例如,该液体是粘度较大的粘稠状还是很稀薄的?可否直接加热?能提供的样品数量有多少?是否易挥发或有毒、易燃等等。所有这些情况,都会或多或少或难或易地影响我们所考虑建立的某个物理模型即再现的物理过程,从而影响着所进行的观测及其结果。应该看到,建模既是一项细致繁杂的工作,也是实验设计者充分发挥主观能动性和创新性的机遇。实验者可以调动自己的常识、经验、睿智和勤奋,很有可能在博采众长的基础上孕育出更好的新模型;事实上,许多新的实验方法就是这样诞生的。

最后要指出的是,样品或物理模型确立之后,与之相应的实验方法也就大致明确了;即便以后实施时可能有所变化,但差别也不会太大。所以,在此基础上制定相应的实验方案和大体上的实验步骤是可行的。

二、实验仪器的选用

选用并确定仪器(量具)的依据,主要是被测物理量的量值、实验条件(包含样品本身的环境条件)和测量精度(误差限)的要求这3个方面。例如测量一根线材的直径,若其量值本身只有零点几毫米,而测量精度要求不大于3%,亦即它的测量值至少应该具有3位有效数字才行。显然选用米尺或游标尺是不行的,只能选用千分尺。但是千分尺在实施测量时,接触被测物的两个测量砧面之间应该有3~5N的压力,而若被测线材是柔性材料,则在这个压力下会产生明显的变形,导致测量结果的错误,在这种情况下选用千分尺被否定,可以选用测量显微镜,由于它是非接触测量,既能保证不使被测量变形,又能得到必须的3位有效数字,从而保证了测量任务的顺利完成。

如果被测物理量是一个多元函数值,即要对多个物理量进行测量之后再通过计算才能得到其结果。例如,要测一边长分别为 a , b , c 的长方体的密度则要分别测出3个边长的量值和其质量,再通过公式进行计算求得其密度 ρ 。其量具的误差则应根据其计算式导出其误差传递式,据此对各量进行误差分配,分别确定每个量的测量仪器的精度级别和量程。

而在初步选定相关仪器时,还要根据所选定的物理模型,考虑整个实验过程所处的环境是否适合该仪器正常工作的条件。事实上,环境中的温度、湿度、气流情况、电磁场辐射、杂散光干扰等等,特别是温度和湿度及电磁场的干扰,对某些仪器的影响是很大的。

还应强调指出,技术与经济上的比较是一个科学实验工作者时刻不能忘记的。每当选择相关仪器时,都要随时提醒自己,在满足实验要求的前提下,应该尽量选择那种简单而又经济的

仪器,切忌总想选那些高精尖的设备。须知:能用普通的初等的设备做出高质量的实验结果,这才是能力与水平的体现;而那种一味靠金钱堆积出来的成果是否真的适用,却常是值得怀疑的。

三、实验步骤的拟定

这一过程,实质上是在不触动任何仪器装置的情况下,所进行的一项模拟实验。它要求实验工作者按预先选定的实验方法和实验方案,具体考虑如何一步步有序地实现整个实验的全过程,并假想会看到一些什么样的预期现象,会测出一些什么样的预期数据。经过几次细心模拟并补充修改完善以后,这样的实施方案才可认为是正确而又可行的,因而可以有信心预期整个实验过程定会完满地顺利完成。这其中应该特别注意哪些实验步骤是重要的,尤其要弄清楚哪些是不可改变次序的操作内容。事实上,在实验过程中,有些操作内容的先后次序并无紧要,但也确实有些内容是不可颠倒的,否则将导致实验失败。而对于有些仪器仪表的调整,若实验步骤安排不当,就可能需要多次重新调整,以致难于做到等精度测量。至于计量器具的量程,若不预先选好,在实验过程就需要变换量程,从而有可能影响数据的归一化处理。所有这些问题,只有在模拟过程中通过缜密的考虑或细心的估计,才能妥当解决。应该看到,实验步骤的拟定直接关系到实验的质量乃至成败,千万不可草率从事。

第三节 实验过程

一、环境与装置的布置

应该明确,在开始布置一个实验时,为了避免可能的疏忽导致设备受损,所有的仪器装置都必须处于正常的存放状态,而不应处于使用状态。对每个仪器装置都应按其功能和作用要求,予以合理的排列布置,务必在保证实验要求得到满足的条件下,便于操作,所有要读取数据的部分要现场明亮,不产生环境条件引起的视差,并且保证实验过程中可能产生磁场、电场或发光发热的部件自身的安全又不影响别的部件和仪器装置。所有这一切,不仅仅是为了确保和提高实验的质量,也是考虑到保护实验者的人身安全的必需。此外,整个布局还要考虑到便于实验前的检查和实验过程中故障的排除,特别是电路的连接,切忌扭成一团,没有秩序。应做到线路走向清晰,交直流分离,正负极明确,高低压隔开,接线牢靠。

还应强调一点,对于较为复杂的含有多种能源(如热源、光源、电源及水源)的实验布置,必须考虑正常过程中按实验要求能分别及时地切断各种能源而不致互相影响;而实验发生意外时,能保证立即切断所有能源而不产生新的危害。

二、仪器的检查与校正

每次实验开始前,应该对所用的量具、仪器及仪表进行例行的检查和校正。这是一项非常细致而又繁琐的工作,主要是检查它们是否处于正常的待用状态。

首先要检查的是电源、水源及光源热源等是否与仪器要求的一致,特别是电压、水压、气压及极性等,同时还要检查这些部分有没有漏水、漏气、漏光等现象。

对于常规量具,如米尺、游标尺、千分尺、天平及温度计等,应核对其零点,示值的正确与清

晰,是否有初读数,天平的水平与平衡,砝码是否齐备完好,温度计的液柱有无中断等等要逐项检查并做必要的原始记录。

常用直读式仪表如系指针式应看其放置位置是否正确(垂直或水平),指针是否灵活,机械零位和电气零位是否正确,如果是多量程仪表,档位放置是否正确,对于直流电路还要核对一下正负极性。在没有特殊要求的条件下,电源的输出电压应该放置(或调节)到电压值最低的状态。

只有做好上列的各项准备和检查工作之后,才能开始进行正常的实验。这是一项繁杂而又细微的工作,需要极大的耐心和认真,切不可操之过急,请特别注意,这一步工作的疏忽大意,轻则导致实验的无法正常进行,重则可能发生仪表,甚至人身的伤害。

三、观察与记录

当你开始做实验的时候,先要重温一下:正常条件下应该出现一些什么样的物理现象和数据呈什么样的规律变化,什么现象是正常的(如发光、发热等),哪些现象是不正常的,可能是什么原因,应该怎样处理。而一旦开始实验,就应该胸有成竹地全神贯注于观察现象和记录数据。

对于那些可以反复进行的实验过程,不妨先粗略地做一次,例如在弹性极限内,材料的受力变形类实验,观察一下全过程,如果与设想的一致,就可以从头开始仔细做一遍,观察整个过程中所发生的现象和与之相关的数据。对于那种不可逆过程或不可能重复进行的实验,例如某种液体的气化热、二极管的击穿电压等,在做好各种准备的情况下,仔细地循序进行实验,特别注意一些细微的变化,不可疏漏,随时记录各种现象和与之相关的参数,尽可能不采用补记的办法,绝对不要随意中断实验过程或重复,以避免引入不必要的误差甚至失误。在只有一个人单独进行而又必须同时记录两个数据的实验,例如测定电阻的温度系数,可以采取设法固定某一参数的变化序列,观察并调整另一可变参数为办法来完成。千万不要依靠或相信自己的“熟练”或“迅速”,把两个并不同时数据记录在一起。牢记实验工作者天然就是唯物主义和实事求是的,否则您的工作将毫无意义。

实验过程的原始数据记录是重要的技术文件,它应该完整而又真实地反映实验的全过程,任何人在任何情况下无权改变。初学者往往特注意外观,常采用先随便找张纸记下来,完了再重新抄一遍,这是不允许的,也是不合格的原始记录。正确的做法,是预先设计好它的格式和内容,在规范的记录纸(一般应和实验报告纸一样)上,详细地列出和记录以下各项内容:

- (1) 实验名称、人员、时间、地点,当时的气象条件如室温、温度及气压等项。
- (2) 实验过程所使用的仪器仪表的型号、规格、数量。
- (3) 实际使用的装置图、电路图、光路图。
- (4) 实验过程所有相关的数据和与之对应的现象。

在实验过程中,读错或写错个别数字是难免的。要养成划掉错误数据在旁边重新写上正确结果的习惯,杜绝那种随意涂改的恶习,保持原始记录的清晰和整洁。测试过程中偶尔会出现一些异常的现象和数据,切忌随意主观地舍去而应认真地记录下来,以便以后分析。对于那些异常的现象和数据,在条件许可时,可以重复的进行以区别真伪或分析原因。

正规的原始记录是最有效力的法律文件;它是一份有价值的实验报告或一项科研结果的基础,是完整的实验报告的重要组成部分,也就是说,没有原始数据记录的实验报告是无效的。

一份有效的原始数据在一定场合由非参予人员的认可是重要的,所以请不要忘记必要的

签字确认手续。

第四节 实验报告

一份完整的实验报告是一件有法律效力的技术文件,大家在学习的过程中就应建立这样的概念。

实验报告一般来说应该包括以下内容:

(1) 实验目的与任务。这是进行一个实验的前提。它应包含任务的来源,要求达到的目的,相关的技术条件和技术指标,并且尽可能地量化。

(2) 实验的理论依据。对于可以用现有公认的理论做为依据的,也应有必要的说明;现有理论不完全适用的,应对其修正部分,详细地论证和阐述,对近似或延伸部分应指明其条件和范围;对尚无现成理论的,应提出有说服力的假设和讨论,并拟通过实验予以证明的内容。

(3) 实验方案及内容。对公认的或大家已经熟悉的部分可以从简,但应突出写明其特异之处或关键部分以及相关的实验步骤。

(4) 数据记录及数据处理。这是报告的核心和关键所在。原始记录必须完整真实,所有计算应符合有效数字运算及数据修约的规范,误差(或不确定度)应符合公认的标准,如有简化或近似,应予以必要的说明。

(5) 结论及分析这也是报告的重点。论据应该为大家所公认的理论为基础,分析应客观,结论要明确。对于尚不能确定的内容应明确报告人的观点和态度,不能含糊其词。若有什么建议或质疑、推论或展望,也要简明扼要的列出。

第二专题 测量误差及数据处理

第一节 物理量的测量

一、量的概念

一般来说,我们在日常生活和生产实践中所遇到的量,都是可以通过测量来确定它的值的,例如一张桌子的长、宽和高。这些量值,一般都由一组确定的数值和与之对应的单位这两部分构成,例如桌子的高为 80 cm,某个物体的质量是 50.0 g 等。应当明确,如果一个物理量的量值没有随之标出相应的单位,将是没有意义的。

每一个表述物体某种性能的物理量,在物体所处的具体条件下,都有与之对应的客观量值,即真值;它存在于物体本身,并没有自我显示出来,所以我们也就无从知道它。例如一个金属块,在一定温度下就有一定的体积、温度和质量等。我们要想知道这些量值,只能通过一定的方法对它们进行测量,例如用天平称量其质量,用尺子测量其线度来计算其体积等。但是由于这些测量都是在一定条件下通过相应的仪器进行的,而任何方法和仪器都不可避免地存在着误差,所以实际测量出来的结果都不可能是它的真值。然而人们进行测量的终极目的,则是力求获得该物理量的真值,且在实际工作中也常常需要用到其真值,如何解决这个矛盾呢?于是便有了一些大家公认的约定,即下述几种量值均可视作真值:理论值、公认值、计量标准值等。在初学者的实验中,常常可以用多次测量的平均值来代替真值。

二、测量的概念与分类

测量的定义是:以确定量值为目的的一组操作。这里有两点是非常明确的,其一是目的,必须是为了确定某物理量的量值。其二是操作,它必须是一组完整的操作过程;显然它可以很简单,例如用米尺测量一下桌子的高度,也可能非常繁杂,如人造卫星的定位。而真正繁杂的还在于,这一组操作中包含着实验方法,测量技术,仪器的配置及数据采集与处理等一系列环节。这些正是本课程所要讨论的基本内容。

至于测量的分类,可以高度概括地说,所有测量都是一个比较的过程:用一个既定的已知量做为标准,去和待测的量进行比较,而以比较所得该标准量的倍数表示此待测量的量值;以该标准量自身表示其单位,从而完成其整个测量过程,例如用厘米(或毫米)为单位制成的尺子去测量某一物体的长度等。显然,要进行这种比较测量的关键,有两个条件是必须具备的:其一是必须有一个与待测量同量纲,且能满足所需要的精度要求的标准量;其二是具备可以进行此项比较过程的环境或条件。可是,在实际情形中,要完全达到上述要求有时是十分困难的。这

就产生了如下一系列的测量方法来解决这些困难。

1. 直接比较测量法

这是一种基本的方法,也是常用的方法。只要能找到与被测物理量可以直接进行比较的标准量,并且通过简单的措施就能直接进行比较测量时,这就是最优先被选用的。如用米尺测量长度,用量筒测量流体的体积等。

2. 间接比较测量法

这是在无法找到能与被测物理量直接进行比较的标准量,但可能通过其他一个或几个能直接进行比较测量的量,并通过一定的函数关系间接得到待测物理量时采用的方法。例如,通过直接测定被测物体的几何尺寸和质量,再通过一定的函数计算,从而得到该物质的密度。显然,我们可以看出,它是直接比较测量法的延伸,只是在使用时应该寻找函数关系最简单的方法。

3. 替代测量法

这是需要选定一种其标准量值已知的替代物,通过一定的装置,在待测物理量限定的属性上,进行等效比较测量的一种方法。例如,用一只标准电阻箱去代替被测电阻,调节标准电阻箱的阻值,使其在同一电路中,达到与被测电阻同等的电路效果,这样从电阻效应来看是等效的,此时标准电阻的阻值就是被测电阻的阻值。历史上的曹冲秤象就是一种典型的替代法。虽然大象和石头在本质上完全是不同的,但是,在重力这点是具有共同的属性,是完全可以替代的。

4. 放大测量法

当被测物理量的量值很小时,很难进行直接比较,可以通过各种方法,如用光学的、机械的或电路等对其被测的属性进行放大,直到可以进行直接比较测量的方法。这里要强调的是,放大应该是均匀的、线性的,不应该出现畸变,这样才能保证测量是有效的,否则会引入较大测量误差。其实在实际应用中,放大的概念可以是非常广义的,例如,在中学教学中,为了测量很细的导线的直径,直接测量有些困难,可以在一根光滑均匀的圆柱体上密绕 N 匝,测出其 N 匝的总宽度,再除以 N ,这实际是将直径放大了 N 倍。在这里特别要注意的是:第一,被测量必须是均匀的,不能粗细不均匀;第二,密绕就是要没有空隙,也没有重叠,至于 N 不能数错,那更是不言而喻的了。

5. 微差测量法

这是在对被测物理量与标准量进行比较的同时,用灵敏的仪器来显示其有无微小差异,若标准量是连续可调的,则应微调标准使其差值为“0”,若标准量不能微调至任意状态,则可检测出其差值来确定被测物理量量值的方法。它多用于精密测量,如电桥、电位差计等。

6. 补偿测量法

在比较测量中,仪器的引入总会改变被测物理量原始系统状态的改变,特别是电路或光路中,电表等的接入,肯定会引入一些接入误差,在一般的测量中,它可以忽略不计,但是,在一些精密的测量中,这些差异将会超出要求,导致测量精度达不到预计的范围。这时就要求采用一定的方法来消除或尽可能地减小这些差异,例如对温度、电流及光损耗等进行补偿,以致检测器件的引入不会对原有的(测试前的)工作状态产生影响,这对于精密测量来说,尤其重要。

还可以列出一些测量方法,不过大家可能早已从上述介绍中发觉,测量方法多数带有双重性或多重性,很难机械地界定。例如,用电流表测定电路中的电流值,其直接示值就是待测电路中电流的量值,因此可以说它是直接比较测量值。但从电流表的工作原理来看,它实际测定的