



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 基础物理实验教程

## 物理测量的数据处理与 实验设计

朱鹤年 编著



高等教育出版社

## 内容简介

本教材是普通高等教育“十五”国家级规划教材.作者力图建立以多选择性、多层次性研究型组合(系列)实验为主的教材框架,以适用于中型研究型组合实验为主的教学模式.该教材的实验内容的选择力求充分利用现有教学资源,对现有资源进行改造和重组;增强每个组合实验的研究型层次和设计型层次,使得不同层次的学生都能有很好的收获.本教材也突出了考虑了开放式教学的需要,力图体现开放式教学的特点.

《基础物理实验教程物理测量的数据处理与实验设计》内容为测量实验的数据处理与设计,主要包括物理量测量的单位与标准、测量误差与不确定度估计的基础知识、实验数据的有效位数与修约、实验数据图示法、直线拟合方法、误差理论的“物理思想要点”、粗差和异常值的判定方法、多元回归分析提纲、系统误差分析提纲、试验设计和正交设计的基本概念与思路、物理测量实验设计概要和不确定度表示体系的进展与两类方法共12章.全书内容丰富、表述简洁、思路清晰准确、方法简明实用.

本书主要用作物理专业的基础物理实验课程的教材,也可作为非物理专业的普通物理实验的教学参考书,亦可供计量学各相关专业的学生与工作人员参考.

## 图书在版编目(CIP)数据

基础物理实验教程/朱鹤年编著.一北京:高等教育出版社,2003.12

基础物理实验教程

ISBN 7-04-013789-5

I. 基… II. 朱… III. ①物理量-测量-实验数据-数据处理-高等学校-教材②物理量-测量-实验-设计-高等学校-教材 IV. 04-34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 100372 号

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-82028899		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京印刷一厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2003 年 12 月第 1 版
印 张	17.25	印 次	2003 年 12 月第 1 次印刷
字 数	320 000	定 价	18.40 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**

# 序

物理学是研究物质运动变化的最一般规律和物质结构的自然科学学科,它是以实验为本的科学.纵观物理学的发展史,理论物理学家的杰出贡献固然起了非常重要的作用,但是几乎所有新物理理论的提出依据或初创基础是物理现象的观测或实验研究的成果,多数物理假说或理论模型都是在实验证明之后才得以发展成完整严密的理论体系的,不少理论是通过其预言或推论的重要实验来充分展示其价值与重要性的.许多新应用技术领域的开拓都源于实验物理学的重大进展.因此可以说实验物理学是物理学的最重要的分支.大学物理实验是理工科教育的一门重要基础课程,要使学生学到物理实验最基本的知识和技能,增强理论联系实际的能力,掌握实验分析和数据处理的基本方法,受到科学精神与科学思维方法的熏陶,为从事自然科学和工程技术的实验研究打下初步的基础.

百年诺贝尔物理学奖的获得者中,大多数是与其实验物理学的突出成就而获殊荣的.丁肇中教授在颁奖宴会上的中文演说中,针对中国古代轻视实践的儒家传统思想强调说“自然科学理论不能离开实验的基础,特别是物理学是从实验产生的.……我希望由于我这次得奖,能够唤起发展中国家的学生们的兴趣,从而注意实验工作的重要性.”近年来我国的高校教学中,大学物理特别是大学物理实验的教学条件得到了普遍改善,物理实验课程建设与教学实验室建设也得到越来越普遍的重视.工作在物理教学第一线的教师们在完善实验课程、更新教学内容、改革教学模式、提高教学效益等方面付出了辛勤劳动,进行了许多实践,取得了丰富经验.

清华大学物理系历来十分重视实验研究与实验教学.首任系主任叶企孙教授就是一位杰出的实验物理学家.叶先生等在1921年发表的用X射线衍射实验测得的普朗克常量曾被国际上沿用达16年之久.他亲自为物理实验写教材、作序言,针对我国当时普遍存在的物理教学中实验训练少之缺憾,强调物理实验对物理系学生培养的重要性.对于当年象李政道这样的理论天赋很好的学生,叶先生同意他可以免修一些理论课,但不能免修实验课,足见其对物理实验教学之重视.在叶先生等老一辈物理学家的倡导下,抗战胜利后清华物理系的教学实验已经具有了相当的规模.

近年来清华大学物理系在理科基础物理实验教学中作了探索,本书中反映的教学思路,以开放为主要形式、以研究性组合实验为主干内容.组合实验既包含基本内容,又有多个可选的带设计性、探索性的综合层次,以发挥学生的主动

性,启发创新思维.他们的实践是有一定参考价值的尝试.本书比较注重课程的基础性与内容的严谨性,还结合计量物理学进展阐述了数据处理的一些有特色的新论点.本书作者多年潜心于实验教学,还坚持作一些科学研究,力求将科研经验与体会融入教学以拓展思路,教学研究也多有著述.这种将教学、教学研究与科学研究相结合的努力是值得提倡的.

顾秉林

二〇〇三年十月

# 前 言

本书主要用作物理系与理学院的基础物理实验课程的教材,可作为非物理专业物理实验的教学参考书,分两册出版.本册是“物理测量的数据处理与实验设计”,该册也可供仪器仪表学与计量学相关专业的学生与工作人员参考.另一册是“研究型组合实验”,主要包括 20 多个(组)综合性较强的,包含若干个研究性层次或子题目的具体实验.

## 1. 本教程用于以开放为主要形式、以研究性组合实验为主干内容的教学模式

复旦大学、南京大学与北京大学等高校前些年开展了以研究型物理实验课为主体的教改探索,霍剑青等的《大学物理实验》(第四册)中也主要是小型科研课题型实验,各校都取得了很好的经验.麻省理工学院与帝国理工学院也进行过这种类型的物理实验教学.借鉴他们的做法,结合以往我们在小范围内试验这一模式的体会,我们感到在基础物理实验中如以研究型实验为主尚有一些不足;1)研究型课题实验的学生容量小,这与广大学生想做有探索性、挑战性内容实验的要求有矛盾;2)研究型题目的典型性、特殊性与课程传统目标及系统性教学要求之间有一定矛盾;3)研究型题目的专门化属性与课程的基础性要求有一定矛盾.近年来我们探索了以开放性教学为主要形式、以研究性组合实验为主干内容的新模式.每个(组)研究性组合实验教材中都包含一定基本层次的实验内容(可选为必做实验),同时突出教材内容的综合性,每个(组)题目都包含多个可供自选的设计性、研究性层次或子题目,这一模式的主要特征是:

(1) 以开放性教学为主、以教师跟班具体指导部分必做基本实验为辅.教材以自学为主,学生自选多数实验题目或研究性层次的任务,自主独立地完成大部分实验室工作,在开放时间内自由出入实验室,自定必做实验中约 2/3 的应交报告的题目.

(2) 探索性实验任务中以带研究性、设计性的层次或子题目为主,以专门小课题研究为辅.加大有探索性、研究性内容实验的考核比重,力图调动学生的主动性,引导他们开展初步的有探索性的实验工作,启发创新精神.在面上要求多数学生自选几组和基本实验内容相关的研究性实验层次或子题目(特别鼓励独立提出新研究性任务者),然后上交实验“大报告”或研究性组合实验报告(每份报告平均需做实验 8~16 小时),在点上组织指导少部分同学完成研究型实验小课题(约需作实验 24 小时以上).

(3) 为保证基本要求,教学安排中以教师跟班指导的若干个必做基本实验为主,辅以任选的预修实验和初级实验、有数量下限的自选基本实验以及一部分数据处理的课外练习。

我们这一模式的试验是对高校中多种课程教学改革方案的一点补充,可能提供一定的参考信息.不同的改革方案或改进探索一般不具有排他性,多种模式实验的百花齐放,是物理教育事业蓬勃发展的标志之一。

## 2. 本教程编写中的几点初步思考

(1) 思考比较对课程目标的不同提法.1992年我国制定的物理专业基本培养规格和教学基本要求中提出了课程目的:“培养学生良好的实验素养和技能…….通过普通物理学实验的教学,使学生掌握物理实验的基本知识,基本方法,并在实验的基本技能方面得到较系统的和较严格的训练;初步学会用实验方法观察、分析和研究某些简单的物理现象和规律,会正确地使用基本的实验仪器和装置,包括安装、调节、操作和读数;会做实验记录、处理数据、写实验报告.在普通物理实验的教学过程中,要促使学生养成良好的实验习惯、严谨的科学态度和作风…….”物理教育家迈斯纳在两版“Laboratory physics”的序言中都对课程的目的作了全面阐述.他提的10个目的中前三项依次为:介绍实验方法的重要性;运用理论于实际问题以加深对物理学基本原理的理解;介绍数据分析方法.国外也有教材将通过实验学习与掌握理论放在课程任务的首位.近年来有的文章将课程目标提得很高,将课程看作是能集中展示大学教学水平的第一窗口;有的特别注重在仪器设备现代化与高显示度上下功夫;有的主要强调用研究型实验培养实验科研能力.我们在比较与思考这些不同提法与实践后感到,我国大学生的实践环境和实验经历不如西方发达国家,现阶段适当强调课程的重要性是必要的;对课程定位的不同理解基本不影响对教学内容与模式的改革与探索;努力做好教学以充分展现课程在学生培养中的作用与影响是对课程重要性的最好证明;从长远看,象多数一流大学那样,将课程“回归”到一门重要基础课的目标定位,也许是一个趋势。

(2) 从组织形式的开放过渡到教学内容的开放.对实验开放有不同的理解,有的强调时间开放,有的注重题目开放自选,也有人突出设计性、研究性实验内容的开放自主研究.我们认为,从智能培养目标看开放的实质主要在于实验内容的开放性与设计性(设计性实验或设计性层次).固定内容的实验题目或时间的开放自选也能提高学生的主动性,这仅是教学组织形式的开放.如能适当增加设计性、研究性、探索性实验的层次与选做内容,过渡到实验内容的开放,才较全面,方能充分发挥学生的学习积极性。

(3) 既强调实践第一,又重视理性思维在实验中的作用.《论语》中曾记述,

孔子对“樊迟请学稼”回答说“吾不如老农”，初听是谦词。“樊迟出，子曰：小人哉樊须也。”反对实践的观点立现。李约瑟说：在整个中国历史上，儒家反对象对自然进行科学的探索，并反对象对技术做科学的解释和推广（《中国科学技术史（第二卷）：科学思想史》，第8页，科学出版社，1990）。历代知识界曾有轻视实践的传统观念。因此，在教学中要突出科学实践的重要性，引导同学树立科学实验是科学理论之本、实践第一的观念，重视动手实验，尊重实验事实，善于从实验中学习知识、提高能力。从另一方面看，我国学生注重理性思考的特点允许我们适度增加实验课程的难度和综合性，适当提高实验方法、数据分析方法等科学方法性教学的比重，增加引导学生运用理论分析新实验问题的教学环节；要学生既能被动分析数据、理性总结实验，又增加运用实验设计理论主动设计实验的初步训练。上述这些加强的环节主要在实验室之外学习完成。这样既重视实践性、又发挥学生善于理性思考的传统，有可能使学生在有限条件下学习较多的知识和技能，较显著地提高综合实验能力。

(4) 实验分支学科内容综合、交叉及渗透的趋势，使我们能适当提高教学实验的起点与综合性。有的学者归纳世界文化观念的发展变化趋势时将综合性、整体化趋势列于首位。物理学的发展也体现了各分支学科内容综合、交叉及相互渗透的趋势。这一趋势使得我们能适当提高教学起点与难度，在实验内容上突出综合性、多层次的特点。综合性与多层次使学生可能在有限的学时内接触到更多的内容，学到更多的实验知识与技能，在分析研究问题时逐步养成从传统思维模式向系统思维过渡的习惯。多层次也为不同起点、不同基础、不同进取心的同学提供了灵活教学的条件。

(5) 实验课的特殊性允许结构独立性、过程渐进性、内容自治性、课程完整性的适度破坏。一般的教育学原则认为：教学过程必须循序渐进、逐步深化，但是循序渐进，不等于没有突变；逐步深化，不等于没有跃迁；周期跃迁才能有所创新。我理解跃迁的周期有长有短，阶梯有高有低。过于强调课程体系的独立性与完整性，将会在一定程度上影响创造能力的培养。教学层次有一定跳跃，学科内容有一些交叉，完整体系有某些破缺，问题矛盾作适当暴露，在学时少、内容广的基础实验类课程中，能一定程度上打破低年级学生对书本、对权威的盲从，启发学生积极思维，鼓励探索，增强对创造能力的培养。系统性的破缺与问题的主动揭示对学生的特殊的学习有特殊的启发作用。以往在基本实验的指导中我都要讲述一些灵活内容：对本实验相关理论或技术的不同处理、争鸣与比较；相关教材的特色或待改进处；相关问题在我所经历、所熟悉的科研中的教训或经验；我们的实验安排或设备中尚存在的问题或矛盾。讲问题、讲欠缺不仅不会降低学生学习积极性，反而会启发他们，增强探索、研究问题的主动性。

(6) 充分注意课程教学内容的基础性、物理性、实践性与相对稳定性特点。

引进很多新设备或很高比例的近代物理实验技术会提高实验室显示度并一定程度上提高学生兴趣,但有时难于起到真正提高教学效益的作用,国外一流大学的实验内容大都充分体现了基础性与物理性的特征.在安排探索性环节时,我们以研究型小课题为辅、以研究性层次或子题目为主,出发点正是课程的基础性.计算机技术在教学中的辅助作用和对学生的吸引比较容易受到重视,但要注意保持课程总体的物理性与实践性,防止减少动手操作和测量读数、软化实验的倾向.一般教学规律要求课程内容与教材的相对稳定性.从总体看,大投入、大变动、大改革的课程建设只能是有阶段性的、短期的工作,教学的相对稳定性要求并不影响课程少部分内容的不断更新与教改方式的不同探索.只有保持“四性”才能充分体现基础物理实验课程的重要性和不可替代性.个别厂家刻意追求的教学仪器的高级性与整体成套性往往与教学效益成反单调关系,因为这与基础性、实践性的要求相悖.

### 3. 本教程是许多同志集思广益、鼎力相助结果

本书所实践的教学形式与内容的改进,初期是与路峻岭副教授一道开始试验的;王长江同志为改造实验设备和保障开放式教学付出了辛勤劳动.常纓、柯伟平、丁小冬等同志参加了实验新内容的研究改进;刘长洪、孙家林、董占民等同志参加了教学并对个别实验作了开发.傅敏学、刘滢滢、朱玲等同志,丁一、胡盛穗、樊向军、张子良以及张永胜等同学都对本书初稿提出了修改建议.在理科分实验室的教学中,李功平、李世权、侯华生、张申余、柏乃炳、刘胜茂、邬淑婉等老师坚持既严格要求,又提倡研究的做法,他(她)们设计的一些实验与仪器是本书实验的基础之一.我们还参考了一些工科物理实验教学的经验,教学工作得到了工科物理实验室多位同事的大力支持.本书所涉及的教学内容和模式的实现,是实验室许多同仁与同学集思广益、鼎力协助的结果,作者谨向他(她)们致谢.

本书由合肥工业大学费业泰教授和陈晓怀副教授主审,审稿人提出了许多宝贵的修改意见和建议.本书的写作得到了北京大学段家祗教授和吴思诚教授的勉励.教材建设与课程教学得到了清华大学吴念乐教授、尚仁成教授和邓景康教授的直接支持与帮助.高等教育出版社的编辑也为本书提出了修改建议.作者谨向他(她)们致谢.

作者感谢李惕碚院士、顾秉林院士对本书写作的关心与勉励,感谢李惕碚院士对本书部分章节所提的宝贵修改意见.

### 4. 教材编写与教学工作的一点体会

我是20年前被从光学教研组调派到物理实验室的.当时要从以科研为重心的专业调到基础课,部分放弃已独立开展的课题研究是两难的选择.师辈的信任



与期望促使我很快走上了实验教学的负责岗位.1996年前我主要从事工科普物实验教学.近几年在负责物理系与基础科学班的物理实验教学中,反思了在工科期间刻意追求理论严谨性、操作严格性与测量准确性的做法,开展了教学内容与模式的改进探索.20年来,教师的责任感一直鞭策我把教书与育人放在首位.近年来我和同事们既坚持基本要求严格、实验作风严谨,又努力营造有一定挑战性且比较宽松的实验学习环境:开放多数教学环节,提倡多做测量比较,启发独立思考分析,允许操作失败反复,鼓励实验深入创新,加强师生沟通交流.20年来,我一直坚持在较困难的条件下开展一些光电子学与计量学的课题研究,虽成果一般,但对教学有明显促进作用,为教学研究拓宽了思路,提高了起点,也为指导研究型小课题打下了基础.20年来,我一直坚持做一些教学研究,力图不受原有教学传统内容的限制,力图融入自己对实验物理学精髓的初步理解,力图适当引入计量物理学的某些进展,力图以教学研究为基础作一些有特色的教学内容改进与模式探索.

十年前在拙作《物理实验研究》的前言中我曾表达了对荐引、激励我做好物理实验教学的李功平先生和徐亦庄先生的缅怀之情,于今仍然清楚地记得他们的教诲.前些年我在协助夏学江教授编辑《工科物理》时,深切体会到他将全部精力献给物理教育事业的精神,他学识渊博、严谨治学、甘为人梯、提携后人的名师风范对我教育颇深.

我的导师张培林教授是1953年开始从事物理教学的,他后来开拓了非线性激光光谱学的某些新领域,他的科学探索精神和严谨作风、他淡泊名利严于律己的品格、他对后来学子的不断关心和勉励教育了我.谨以本书献给他,以表达学生对他从教50年的感谢与敬意.

朱鹤年 2003年9月

策划编辑	庞永江
责任编辑	庞永江
封面设计	于文燕
责任绘图	朱 静
版式设计	张 岚
责任校对	俞声佳
责任印制	陈伟光

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010) 58581897/58581698/58581879/58581877

**传 真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

**邮 编：**100011

**购书请拨打电话：**(010)64014089 64054601 64054588

# 目 录

第 1 章 物理量测量的单位与标准 .....	1
1.1 量和物理量 .....	1
1.2 单位与国际单位制 .....	3
1.3 测量结果的表示及测量的四要素 .....	9
1.4 量和单位 1993 年国家标准与 1986 年标准相比的主要变动表 .....	10
第 2 章 测量误差与不确定度估计的基础知识 .....	14
2.1 误差的定义、分类及简要处理方法 .....	14
2.2 直接测量结果的不确定度估计 .....	18
2.3 间接测量结果的不确定度合成 .....	23
2.4 计量器具测量误差的初步介绍 .....	25
2.5 误差理论的部分数理统计基础* .....	29
2.6 附录** .....	39
第 3 章 实验数据的有效位数与修约 .....	44
3.1 有效位数的概念 .....	44
3.2 修约间隔和修约规则 .....	45
3.3 实验数据的有效位数确定 .....	46
3.4 数值修约意义的补充说明* .....	49
3.5 不确定度决定修约间隔的证明与应用 .....	49
3.6 回归系数的有效位数* .....	52
第 4 章 实验数据图示法 .....	59
4.1 图示法概述 .....	59
4.2 作图坐标分度值的选取 .....	62
4.3 两变量关系图的手工作图步骤 .....	64
第 5 章 直线拟合方法 .....	67
5.1 最小二乘法直线拟合 .....	67
5.2 直线拟合的结果表示和参量的置信区间 .....	69

5.3	直线拟合的质量判断 .....	74
5.4	过原点的直线拟合 .....	77
5.5	加权平均 .....	78
5.6	加权直线拟合** .....	80
5.7	直线拟合的其它方法 .....	83
5.8	变量 $x$ 有误差的情形** .....	86
第 6	章 误差理论的“物理思想”要点 .....	90
6.1	误差理论和不确定度表示体系的学习难点* .....	90
6.2	误差理论的“物理思想”要点 .....	92
6.3	我们在实验教学中的基本要求简介 .....	102
6.4	误差理论教学中要注意的几个主从关系** .....	103
第 7	章 粗差与异常值的判定方法 .....	107
7.1	粗差成因和浅析 .....	107
7.2	从技术上、物理上的考虑判定粗差 .....	108
7.3	粗差的统计学判定方法 .....	108
7.4	作图判断法 .....	113
7.5	由仪器误差限、标准差或不确定度估值来判断 .....	113
7.6	回归(拟合)中的粗差判断举例 .....	114
7.7	误差的客观性与数据的分散性 .....	117
第 8	章 多元回归分析提纲 .....	119
8.1	回归分析简介 .....	119
8.2	多元线性回归 .....	125
8.3	EXCEL 中的回归方法 .....	126
8.4	回归问题求解与质量判断的方法举例 .....	131
第 9	章 系统误差分析提纲 .....	138
9.1	系统误差分析的重要性 .....	138
9.2	系统误差的主要特征与分类 .....	141
9.3	系统误差的发现方法 .....	145
9.4	系统误差的减消方法 .....	153
9.5	基础物理实验中分析、发现和减消系差的实例 .....	158
第 10	章 试验设计和正交设计的基本概念与思路 .....	163

10.1 试验设计简介 .....	163
10.2 正交试验设计概述 .....	168
10.3 正交表及其应用 .....	169
10.4 多元回归的正交设计* .....	171
10.5 试验设计的典型问题举例——称重设计* .....	173
<b>第 11 章 物理测量实验设计概要 .....</b>	<b>176</b>
11.1 明确测量实验的目标和测量对象 .....	177
11.2 研究、比较和选择测量原理与测量方法 .....	182
11.3 测量设备的选择考虑 .....	191
11.4 实验设计中的参量选择 .....	202
11.5 数据处理方案的选择与比较 .....	211
<b>第 12 章 不确定度表示体系的进展与两类方法 .....</b>	<b>224</b>
12.1 不确定度表示体系的建立过程 .....	224
12.2 两类不确定度的表示和综合方法 .....	227
12.3 对指南的问题简析** .....	233
<b>附录 常用因子、临界值与参数的计算公式 .....</b>	<b>245</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>248</b>
<b>关键词索引 .....</b>	<b>251</b>
<b>后记 .....</b>	<b>257</b>

# 第 1 章

## 物理量测量的单位与标准

在自然科学、工程技术、物质生活与物资流通的几乎所有领域都离不开科学测量。测量是自然科学实验的主要组成,测量是产品质量控制的必要保证,测量是技术监督检验的中心工作,测量是商品估质定量的必要步骤,测量是医学检查诊断的重要内容,测量是气象环境测报的关键任务,测量是灾害预报预防的首要依据。在物理学的发展历程中,对物理现象、状态或过程中各种物理量的准确测量是实验物理学的核心任务。测量也是发现新物理规律、证明新物理理论、研究新物质材料、发明新器具装置的必不可少的实践基础。

### 1.1 量和物理量<sup>[1,2]</sup>

#### 1.1.1 可测量的量

关于量(quantity)或物理量(physical quantity),国际上一直没有权威性定义。ISO 31/0 的第一版中曾经说:“物理量是用于定性和定量地描述物理现象的概念”。1993 年以前各种文献尽管对量的定义不明确,但是对于量的表达是没有歧义的:在物理学中,量可以是标量、矢量或张量。既可以使用符号表示量,也可用数值与单位之积来表示。在经典物理学领域中,用符号所表示的量在特定条件下总是可测的。量和单位的国家标准 GB3101—93 中界定了量和单位的系列标准“只处理用于定量描述物理现象的物理量”。基础物理实验中我们测量的基本上都是物理量。

VIM93<sup>①</sup>中“(可测量的)量”的定义为:“(measurable) quantity”是“attribute of a phenomenon, body or substance that may be distinguished quantitatively and determined quantitatively.”,译成“现象、物体或物质的可以定性区别和定量确定

---

<sup>①</sup> 英文原文为 ISO、IEC、OLML、BIPM、IUPAP、IUPAC、IFCC 等 7 个国际组织联合颁布的 International vocabulary of basic and general terms in metrology。本书中简称 VIM93,未加注解的英文定义均引自该文献,其较早版本为 VIM84。

的属性”。

在这一新定义中,增加了可定性区别的定语,量的概念扩展了.虽然一些量只能取一系列分立的量值,仍然属于可测量的范畴.这些量和我们的日常生活、工程技术的关系十分密切.虽然是可测量,但不属于严格意义物理量的“延拓量”有:地震烈度、风力、表面粗糙度、水的等级指数、空气污染指数、感光材料的感光度、pH、材料硬度和燃油辛烷值等,还有许多商品计量检定的等级指标等量.测量这些量时要将它们与特定的参考标尺相比而得出不连续的被测量值.尽管这些量不是严格意义上的物理量,但都是可测量的量,在确定这些量的过程中大多要用到物理量测量仪器和物理学方法.例如,为定风力等级,需先测定平均风速.由测量平均风速  $\bar{V}_N / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$  确定风力等级  $N$  的定义式为<sup>[4]</sup>

$$0.824N^{1.505} - 0.5N^{0.56} \leq \bar{V}_N \leq 0.2 + 0.824N^{1.505} + 0.5N^{0.56} \quad (1.1)$$

术语“量”可以指长度、温度、时间、质量等广义量,也可以指钢丝直径、铜棒长度、电流计线圈电阻、煤油质量热容等特定量.

### 1.1.2 量制

量制(system of quantities)是“set of quantities, in the general sense, among which defined relationships exist”.为了建立单位制,如SI,首先必须建立量制,并建立定义这些量之间相互关系的一系列方程,因为物理量之间的方程决定了单位之间关系的方程.量制是单位制的基础.国际量制(the International System of Quantities)简称为ISQ.国际量制是一个新术语,它就是由国际单位制中所述的一系列物理量所构成的.

在科学技术领域中,约定选取的基本量和导出量组成量制.

### 1.1.3 基本量

基本量(base quantity)的定义为“one of the quantities that, in a system of quantities, are conventionally accepted as functionally independent of one another”.在ISQ中这些独立定义的基本量共7个,见表1.1.

表 1.1 国际量制中的 7 个基本量

	基本量 base quantity	量的符号 symbol for quantity	量纲符号 symbol for dimension
1	长度(距离)length(distance)	$l, L(d, r)$	L
2	质量 mass	$m$	M
3	时间 time	$t, T$	T



续表

	基本量 base quantity	量的符号 symbol for quantity	量纲符号 symbol for dimension
4	电流 electric current	$i, I$	I
5	热力学温度 thermodynamic temperature	$T$	$\Theta$
6	物质的量 amount of substance	$n, (\nu)$	N
7	发光强度 luminous intensity	$I, (I_v)$	J

### 1.1.4 导出量与量纲

导出量(derived quantity)的定义为“quantity defined, in a system of quantities, as a function of base quantities of the system”.在ISQ中,除了7个基本量之外的所有其它量都是导出量.量纲(dimension of quantity)是“以量制中基本量的幂的乘积表示该量制中一个量的表达式”.ISQ中,所有量的量纲都可以写成基本量量纲的幂的乘积的形式

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\epsilon N^\zeta J^\eta \quad (1.2)$$

上式中幂指数 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ 与 $\eta$ 一般是包括零在内的小整数.对于ISQ中的基本量量纲,上式中的幂指数只有一个为1,其余均为0;对于多数导出量的量纲,上式的幂指数中有两个或多个不为0.国际量制的建立使所有物理量构成了一个完整的逻辑体系,从而可用数学式来表现所有导出量的定义,用数学式描述物理定律中物理量之间的关系.基本量的量纲表达式是唯一的,但导出量的量纲表达式不唯一,因为它既可以用基本量的量纲表示,也可以用导出量的量纲表示.例如运动粘度的定义为体积质量(即密度) $\rho$ 除以动力粘度 $\eta$ 之商,即, $\nu = \eta/\rho$ 单位为 $[\nu] = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ,运动粘度的量纲习惯写成 $\dim \nu = \dim(\eta \rho^{-1})$ ,而一般不用 $L^{-1}MT^{-1}/(L^{-3}M)$ ,也不用 $L^2T^{-1}$ .

## 1.2 单位与国际单位制

### 1.2.1 计量单位

计量单位(unit of measurement)的定义为“particular quantity, defined and adopted by convention, with which other quantities of the same kind are compared in order to express their magnitudes relative to that quantity”.