

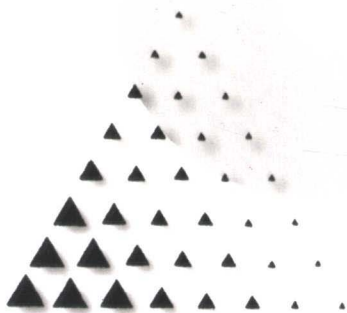
高等学校适用教材 ◆◆

JILIANGXUE JICHU

# 计量学基础

顾龙芳 编著

中国  
计量  
出版社



高等学校适用教材

# 计量学基础

顾龙芳 编著

中国计量出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

计量学基础/顾龙芳编著. —北京:中国计量出版社,2006.4  
高等学校适用教材  
ISBN 7-5026-2312-4

I. 计… II. 顾… III. 计量学—高等学校—教材 IV. TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 015608 号

## 内 容 提 要

本书主要讲述计量学的基本原理和技术,内容包括:计量的基础知识、计量单位及单位制、量值传递及量值溯源技术、误差理论及测量不确定度、十大计量及计量的发展等。

本书可作为高等学校质量技术监督类专业、测控技术与仪器等相关专业的教材,也可供科研单位、检测/校准机构和工矿企业从事计量检定、检测/校准、精密测试、计量管理的人员使用。

中国计量出版社出版  
北京和平里西街甲2号  
邮政编码 100013  
电话 (010)64275360  
<http://www.zgjl.com.cn>  
北京市迪鑫印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
版权所有 不得翻印

\*

787 mm×960 mm 16开本 印张 10.75 字数 176千字  
2006年4月第1版 2006年4月第1次印刷

\*

印数 1—3 000 定价:18.00元

# 质量技术监督高校教材 编审委员会

主任 张玉宽

副主任 马纯良 孙秀媛

委员 瞿兆宁 裴晓颖 黄 夏 何伟仁 李小亭  
张 艺 宋明顺 杨建华 吴宁光 史菊英  
赵玉禄 孙克强 周志明 张莉莉 王庆仁  
许吉彬 刘宝荣 韦录强 张万岭 孙振江  
陈小林 朱和平 李素琴 刘宝兰 刘文继  
张桂琴

# 出版前言

随着我国加入世界贸易组织，社会主义市场经济和质量技术监督事业的迅速发展，迫切需要大量的质量技术监督专业人才。质量技术监督高等专业教育在质量技术监督教育事业中占有重要地位，对提高在职人员的素质、改善队伍结构、培养新生力量具有重要意义。大力发展质量技术监督高等专业教育，将对质量技术监督事业产生深远的影响。

近年来，全国各地质量技术监督院校办学条件不断改善，招生规模不断扩大，教学质量和水平不断提高。与此同时，在质量技术监督教育中，高等教育所占比重不断增大。为了适应这种形势，加快质量技术监督院校教材建设的步伐，根据质量技术监督院校对专业教材的实际需求，我们组织全国质量技术监督及相关院校和单位编写了有关标准化、计量、质量等方面的系列专业基础课和专业课教材。

这套教材主要是根据质量技术监督高等专业教育的需要编写的。在目前情况下，存在多种形式的质量技术监督高等和中等专业教育，因此，在编写过程中从内容选取、结构设计、深浅程度等方面考虑了适用的多样性。质量技术监督普通中等专业教育、职业教育和人员技术培训等，可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

原国家质量技术监督局政策法规宣传教育司进行了本套教材的前期组编工作。参加教材审定工作的院校和单位有：中国计量学院、河北大学质量技术监督学院、西华大学技术监督学院、山东省质量工程学校、广西计量学校、河南省质量工程学校、天津市渤海职业中等专业学校、吉林省技术监督职工中专学校、北京

市质量技术监督培训中心等。在教材的编写、审定等工作中，中国计量出版社、河北大学质量技术监督学院等单位做了很多具体、细致的工作。

这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面的努力，但仍可能存在很多不足之处，甚至于错误，我们拟在使用过程中听取各方面意见，于适当时机组织修订。

国家质量监督检验检疫总局人事司  
2003年4月

## 编者的话

计量是为实现单位统一、量值准确可靠的活动。关于测量的科学称为计量学。

在过去,我国把计量称为度量衡,这是因为在古代,人类主要从事农业、手工业生产,在生产和商品交换中,只需要度量衡制度。随着社会的发展和科学技术的进步,今天的计量领域已经远远不是过去简单的度量衡所能涵盖的。现代计量工作由科学计量、法制计量和工程计量三部分组成,是国民经济、社会发展和国防建设的重要技术基础。随着经济全球化和信息化的迅速发展,计量在工业、农业、高新技术产业、社会服务、对外贸易和可持续发展战略中的应用越来越广泛,并在各个领域发挥着越来越重要的作用。特别是我国加入WTO后,计量工作在经济、科技和国际贸易的重要作用日益显著,同时也对计量工作提出了新的、更高的要求。

本教材注重理论和实践相结合,以方便学生学习和理解。教材中的有关术语、定义和技术反映了计量学的最新科研成果并参照了相关的国家计量技术法规。重点参照的技术法规有:JJF1001—1998《通用计量术语及定义》,JJF1094—2002《测量仪器特性评定》,JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》等。本教材对十大计量的描述较为简要,只是分别介绍了涉及的量 and 使用的计量器具,目的是使学生对十大计量有初步的认识,为今后的专业教学打基础。另外本教材对能力验证方法进行了说明。

本教材是根据质量技术监督高校教材大纲审定会审定的《计量学基础》课程大纲编写的。结合了作者十多年讲授计量学基础的教学经验,分八章阐述了计量的基础知识、计量单位及单位

制、量值传递及量值溯源技术、误差理论及测量不确定度、十大计量及计量的发展等内容。每章都有习题供使用者选用。本教材可作为高等学校质量技术监督和测控技术与仪器专业的专业基础课教材。建议按 36 学时（如果误差理论及测量不确定度的内容没有单独课程建议按 54 学时）进行教学。同时也可以作为在职计量人员的培训教材。

本教材在编写过程中得到中国计量出版社李素琴同志的热情支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

**编著者**

**2006 年 2 月 于杭州**



# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	(1)
<b>第一节 计量的概念</b> .....	(1)
一、测量、计量与测试 .....	(1)
二、计量的分类 .....	(3)
<b>第二节 计量的特点</b> .....	(5)
一、准确性 .....	(5)
二、一致性 .....	(5)
三、溯源性 .....	(5)
四、法制性 .....	(6)
<b>第三节 计量的作用和意义</b> .....	(6)
一、计量与科学技术 .....	(7)
二、计量与工业生产 .....	(9)
三、计量与人民生活 .....	(10)
四、计量与贸易 .....	(11)
五、计量与国防 .....	(12)
六、计量与 WTO .....	(13)
<b>第四节 计量的发展</b> .....	(14)
一、古典阶段 .....	(14)
二、经典阶段 .....	(14)
三、现代阶段 .....	(16)
<b>第五节 我国计量工作的发展</b> .....	(17)
一、度量衡的发展 .....	(17)
二、中华人民共和国的计量工作 .....	(19)
<b>第六节 我国计量法规体系</b> .....	(22)
一、计量法规体系的构成 .....	(22)
二、《中华人民共和国计量法》 .....	(23)
三、计量行政法规 .....	(27)

四、我国计量规章	(28)
思考与练习题	(29)
<b>第2章 计量单位及单位制</b>	(30)
第一节 计量单位与单位制概念	(30)
一、量和量值的概念	(30)
二、计量单位	(32)
三、单位制	(34)
第二节 量纲的概念	(34)
一、量纲的定义	(34)
二、量纲的表示	(34)
三、量纲的运算	(35)
四、量纲分析	(36)
第三节 单位换算	(38)
一、量方程、单位方程和数值方程	(38)
二、单位换算	(39)
第四节 国际单位制	(40)
一、国际单位制的形成与特点	(40)
二、国际单位制的组成	(42)
第五节 我国法定计量单位	(48)
一、我国法定计量单位的构成	(49)
二、我国法定计量单位的定义	(50)
三、我国法制计量单位的特点	(52)
四、我国法定计量单位的使用	(53)
思考与练习题	(58)
<b>第3章 计量器具</b>	(59)
第一节 计量器具的概念	(59)
一、计量器具的定义	(59)
二、计量器具的分类	(59)
第二节 计量器具特性	(62)
一、范围	(63)
二、准确度	(63)
三、输入输出特性	(64)
四、稳定性	(68)
思考与练习题	(68)

<b>第4章 量值传递</b> .....	(69)
<b>第一节 量值传递及方法</b> .....	(69)
一、量值传递的必要性 .....	(69)
二、量值传递系统 .....	(70)
三、量值传递的方法 .....	(70)
<b>第二节 计量检定</b> .....	(75)
一、计量检定概述 .....	(75)
二、计量检定的方法 .....	(77)
三、计量检定的特点 .....	(79)
四、计量检定的分类 .....	(79)
五、检定周期的确定和检定结果的处理 .....	(80)
六、计量检定印、证的性质、作用和种类 .....	(80)
七、计量检定印、证的管理与使用 .....	(81)
<b>第三节 计量检定系统</b> .....	(82)
一、检定系统表的作用 .....	(82)
二、检定系统表的制定与发布 .....	(83)
三、计量检定系统的内容 .....	(83)
<b>第四节 计量检定规程与校准规范</b> .....	(85)
一、计量检定规程的作用 .....	(85)
二、计量器具检定规程的主要内容和要求 .....	(88)
三、计量校准规范 .....	(90)
四、计量校准规范各部分的内容 .....	(91)
<b>思考与练习题</b> .....	(94)
<b>第5章 量值溯源与能力验证</b> .....	(95)
<b>第一节 量值溯源与校准</b> .....	(95)
一、量值溯源 .....	(95)
二、校准和检定 .....	(97)
三、量值溯源途径 .....	(98)
<b>第二节 能力验证</b> .....	(98)
一、能力验证的基本概念 .....	(98)
二、能力验证类型 .....	(100)
三、能力验证的作用 .....	(102)
四、当前国际能力验证活动的主要特点 .....	(102)
五、能力验证相关政策 .....	(103)

思考与练习题 .....	(105)
<b>第6章 误差与测量不确定度</b> .....	(106)
<b>第一节 测量误差</b> .....	(106)
一、基本概念 .....	(106)
二、测量误差来源 .....	(108)
三、误差的分类 .....	(109)
<b>第二节 随机误差</b> .....	(110)
一、随机误差的基本性质 .....	(110)
二、随机误差的处理 .....	(111)
三、不等精度测量 .....	(113)
<b>第三节 系统误差</b> .....	(113)
一、系统误差的分类 .....	(113)
二、系统误差的产生 .....	(114)
三、系统误差的发现 .....	(115)
四、系统误差的消除 .....	(116)
<b>第四节 误差的传递</b> .....	(117)
一、间接测量的误差 .....	(117)
二、误差的合成 .....	(117)
三、微小误差准则 .....	(118)
<b>第五节 测量结果的预处理</b> .....	(119)
一、粗大误差 .....	(119)
二、有效数字与数字修约 .....	(121)
<b>第六节 测量不确定度评定与表示</b> .....	(122)
一、不确定度定义 .....	(122)
二、不确定度的分类 .....	(123)
三、标准不确定度的 A 类评定 .....	(124)
四、标准不确定度的 B 类评定 .....	(124)
五、自由度及其确定 .....	(125)
六、测量不确定度的合成 .....	(126)
七、测量不确定度应用实例 .....	(128)
思考与练习题 .....	(132)
<b>第7章 十大计量</b> .....	(134)
<b>第一节 几何量计量</b> .....	(134)
<b>第二节 温度计量</b> .....	(135)

第三节	力学计量	(136)
第四节	电磁计量	(138)
第五节	无线电计量	(139)
第六节	时间频率计量	(140)
	一、时间与频率	(140)
	二、时标	(141)
第七节	电离辐射计量	(143)
第八节	光学计量	(144)
第九节	声学计量	(148)
第十节	化学计量	(149)
	一、物理化学计量	(149)
	二、标准物质	(150)
	思考与练习题	(152)
<b>第8章</b>	<b>计量科学技术的发展</b>	(154)
	一、计量技术的发展	(154)
	二、全球计量体系	(155)
	三、计量科技发展的“四个导向”	(156)
	参考文献	(158)

# 第1章 绪论

---

## 第一节 计量的概念

### 一、测量、计量与测试

我们在从事计量测试工作时往往涉及到计量、测量与测试等术语，计量、测量与测试这三者之间的关系是十分密切的，它们都与确定量值的大小有关。

#### 1. 测量

人类在认识和改造自然的过程中，通过观察和思维，对自然界的各种现象、物体或物质进行了大量的分析比较，如山峰的高度、天气的冷暖、人的身高等。通过长期的实践，逐渐产生了以“量”的概念来比较的结果。这种用比较的方法来确定客观事物大小、程度等的过程，就是早期的测量概念，被比较的客观事物（即自然界的各种现象、物体或物质）的大小、程度等就是早期的测量对象（即被测量）。

随着历史的发展，被测的量也不断扩展。在古代，被测的量主要限于长度、容量、质量（重量）和土地面积等少数几个量。中国古代的“度量衡”就是指长度、容积和质量（或重量）。随着人类社会进入工业化和信息化时代，特别是物理学的发展，使得被测的量迅速增长，测量的量值范围不断扩大，测量的准确度也不断提高。到现在出现了动态测量、实时测量、综合测量及特殊环境下测量的新要求。但不论何种测量，也不论被测的量是什么量（物理量、化学量、工程量还是心理量等），测量的目的只有一个，就是确定被测量的量值。因此在 JJF 1001—1998《通用计量学术语

及定义》中,测量的定义是:以确定量值为目的的一组操作。它包括测量过程中的全部内容。

测量是科学技术、工农业生产、国内外贸易、工程项目以至日常生活的各个领域不可缺少的一项工作。人们在认识自然和改造自然的过程中,都需要有一个量的概念。事物的性质是通过质和量来体现的,测量科学技术就是正确反映客观物质世界的真实情况,揭示物质运动内部联系和规律的一门学科。

## 2. 测试

测试是具有试验性质的测量,目的是通过多参量的试验来确定其物体的特性或条件的最佳状态,单位也是可以任意选定的。它往往是在没有成熟的测量方法或测量条件的情况下,对被测量的测量。因此它具有探索性、研究性和试验性的特点。它是测量和计量工作的前期工种,为测量和计量工作准备。当测量方法、测量条件及测量设备都成熟时就可转化为测量或计量。

## 3. 计量与计量学

根据 JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》,计量的定义是:实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量学是关于测量的科学。人类在生产、生活、贸易、科学研究中必须借助测量手段进行测量活动来认识事物。测量手段和测量方法的准确性、可靠性和测量结果的一致性测量的基本条件。计量学就是研究测量、保证量值统一和准确的科学。计量是基础科学,也是应用科学,最重要的它还是一门先导科学。研究、建立、保存、维护计量基(标)准器具,实现单位统一、量值准确可靠的工作就是基础性的工作;我们建立的基(标)准装置,进行量值传递和溯源,直接应用到生产第一线,对生产用的标准器具进行检定、测试、校准,使生产等各领域的工作计量器具统一规范。如市场用的量长度的米尺、称重量的秤等都应属于应用计量器具。说计量是先导科学,主要是指新兴的科技领域、工业生产领域,如超导研究、生命科学、材料科学、计算机技术等,在这些新兴科学技术开发研究的过程中,就需要一系列的测试与测量。如果计量标准、测试手段满足不了其发展的需要,就会影响科学技术的进步。在这些过程中,计量标准、测试手段和测试方法就应随之建立起来,甚至应超前研究建立才能满足新技术不断发展的要求,由此说这种需要的超前性就应是计量科学要做到的。

计量学研究的内容包括:(1)计量单位及其基准、标准的建立、复制、保存和使用;(2)量值传递、计量原理、计量方法、测量不确定度以及计

量器具的计量特性；(3) 计量人员进行计量的能力；(4) 计量法制和管理；(5) 有关计量的一切理论和实际问题。此外计量学也研究物理常量、常数和标准物质、材料特性的准确测定。

计量科学技术的水平能集中体现一个国家科技发展的水平。计量科技水平越高，工业产品的质量就越好；计量测试精度越高，产品的性能就越高，其产品的竞争力就越强。比如同样的产品有的做得非常精细，有的做得粗糙，这里就有个标准水平、计量(测量)水平和工艺水平问题。

## 二、计量的分类

国际上趋向把计量分为科学计量、工业(工程)计量和法制计量三类，它分别代表计量的基础、应用和政府起主导作用的社会事业三个方面。

### 1. 科学计量

科学计量主要指的是基础性、探索性、先行性的计量科学研究。科学计量本身属于精确计量，通常是国家计量科学研究机构的主要任务，包括计量单位与单位制的研究、计量基准和标准的研制、物理常数的测定、精密测量技术的研究、量值传递与量值溯源系统的研究、量值比对方法、误差理论及测量不确定度的研究。

### 2. 工程计量

工程计量亦称工业计量，系指各种工程、工业企业中的实用计量。例如，关于能源、原材料消耗的计量，工艺流程的监控以及产品品质与性能的测试等是各行各业普遍开展的一种计量。工程计量涉及面甚广，随着产品技术含量提高和复杂性的增大，为保证经济全球化所必需的一致性和互换性，它已成为生产过程控制不可缺少的环节。工程计量测试能力，实际上是一个国家工业竞争力的重要组成部分，在以高技术为基础的经济框架中显得尤为重要。随着微电子工业的迅速发展，纳米计量已成为热门话题，它涉及物体及其表面的特征， $1\text{ nm}\sim 1\text{ }\mu\text{m}$  范围内测量对象的间隔或位移，例如大规模集成芯片结构的线宽、台阶、膜厚等。利用纳米技术可以操纵单个原子，从而为制造量子器件或单电子器件以及制造原子密度的数据提供了可能。如果说 20 世纪 30、40 年代的核技术是对物质潜在能量的开发，使“单位质量物质”的爆炸能力增加了百万倍的话，那么，纳米技术则是对物质潜在信息和结构的开发，将使“单位体积物质”贮存和处理信息的能力增加百万倍。



### 3. 法制计量

法制计量是为了保证公众安全、国民经济和社会发展,根据法制、技术和行政管理的需要,由政府或官方授权进行强制管理的计量。包括对计量单位、计量器具(特别是计量基准、标准)、计量方法和测量准确度(或不确定度)以及计量人员的专业技能等都有明确规定和具体要求。

法制计量由政府或授权机构根据法制、技术和行政的需要进行强制管理,其目的是用法规或合同方式来规定并保证与贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测、资源控制、社会管理等有关的测量工作的公正性和可靠性,因为它涉及到公众利益和国家持续发展战略。法制计量的特征除了政府起主导作用,即由政府或代表政府的机构管理外,还有一个明显的特征:直接传递到公众一端,即直接与最终用户的计量器具及其测量结果有关,它涉及的不仅是有利益冲突而需要保护以及测量结果需要公共机构予以特别关注或特殊信任的领域,还包括测量结果违背公共利益的领域,即保护与违背两者常常是并存的。忽视医疗计量就会造成可怕的医疗事故,例如用伽玛刀放射治疗肿瘤时聚焦偏差过大会使正常组织因受到高剂量照射而坏死。

综上所述,一方面,科学计量为法制计量提供了技术保障,还为工业计量和新技术发展提供测量基础。因此“没有测量,就没有科学”。另一方面,科学计量本身又必须用最新的科技成果来发展自己,使之始终保持在先行的位置。

目前,比较成熟和普遍开展的计量科技领域有几何量(或长度)、温度、力学、电磁、无线电(或电子)、时间频率、电离辐射、光学、声学、物理化学等10大类。但随着科学技术的发展,目前计量的范畴已经突破了传统的十大计量,如:生物工程、环保工程、宇航工程等的计量测试,也正在逐渐形成。

就学科而论,计量学又可分为:

(1) 通用计量学——涉及计量的一切共性问题而不针对具体的被测量的计量学部分。例如,关于计量单位的一般知识(单位制的结构、计量单位的换算等)、测量误差与数据处理、计量器具的基本特性等。

(2) 应用计量学——涉及特定计量的计量学部分。通用计量学是泛指,不针对具体的被测量;而应用计量学则是关于特定的具体量的计量,如长度计量、频率计量等。

(3) 技术计量学——涉及计量技术,包括工艺上的计量问题的计量学部分。例如,自动测量、在线测量等。