

胡 旭 仲跻良 毛仁冒 编

m
mol
kg
ad
S

计量技术 基础知识



计量技术基础知识

胡 旭 仲跻良 毛仁昌 编

陕西科学技术出版社

计量技术基础知识

胡 旭 仲跻良 毛仁昌 编

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 陕西安康印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张15 字数317,000

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数 1—8,700

统一书号: 13202·63 定价: 2.90元

内 容 提 要

本书共十三章。内容包括概述、量的单位和单位制、长度、温度、力学、电磁、无线电、时间频率、光辐射、化学、声学、电离辐射计量及测量误差的基本知识。本书全面概要地介绍了现代计量技术的基础知识，从原理、方法、标准装置、量值传递到发展趋势，都作了系统地叙述，反映了现代计量科学的全貌。

本书可供从事计量测试和仪器仪表行业的技术工作者、管理人员和检验人员使用，也可供从事精密测量的工程技术人员、理工科学生和教师参考。

前 言

计量科学是一门基础性的应用科学，是实现四个现代化的技术基础。计量科学的内容十分丰富，目前涉及的专业学科有十大类一百四十多项。计量单位制、误差理论及物理常数的研究，也是计量科学的重要领域。

为了使读者了解和熟悉计量技术的内容、原理、方法和发展，普及计量知识，我们编写了这本书。供从事计量测试和仪器仪表行业的技术人员、管理人员和检验人员使用，从事精密测量的工程技术人员和理工院校师生也可作参考。

全书共十三章，分为概述、量的单位和单位制、测量误差的基本知识及长度、温度、力学、电磁、无线电、时间频率、光辐射、化学、声学、电离辐射计量等。在编写过程中，力争做到系统全面、概念正确、通俗易懂。

本书参考了国家计量局教育处编写的有关资料。承蒙田家乐、柏永新、王景云、刘元享、张叔涵、胡昌壁、蒋孟厚、陈维新、胡祐维、张福成、丁小清、王业安、高华魂等同志分别审定了各有关章节。陕西省计量测试研究所的一些同志也给了我们很多帮助，在此一并表示感谢。

由于计量技术的学科很多，加之我们水平有限，书中肯定存在不足之处，欢迎读者批评、指正。

编 者

1984年

1989年

目 录

第一章	概述	(1)
1·1	计量、测量、测试	(1)
1·2	计量的产生和发展	(4)
1·3	计量的作用	(10)
1·4	计量工作的任务	(14)
1·5	检定和量值传递	(15)
第二章	量的单位和单位制	(18)
2·1	量、单位和数值	(18)
2·2	计量单位制	(19)
第三章	长度计量	(39)
3·1	长度计量的概念	(39)
3·2	线纹计量	(46)
3·3	量块计量	(52)
3·4	角度计量	(62)
3·5	表面光洁度计量	(75)
3·6	平面度计量	(87)
3·7	表面波纹度计量	(94)
3·8	万能量具	(96)
第四章	温度计量	(111)
4·1	温度的概念	(111)
4·2	温标	(112)

4.3	温度量值的传递	(123)
4.4	中、低温计量	(125)
4.5	高温计量	(140)
4.6	温度计量的发展趋势	(159)
第五章	力学计量	(163)
5.1	质量计量	(163)
5.2	力值(测力)计量	(179)
5.3	硬度计量	(188)
5.4	振动计量	(195)
5.5	密度计量	(202)
5.6	压力计量	(211)
5.7	真空计量	(225)
5.8	流量计量	(233)
5.9	容量计量	(240)
第六章	电磁计量	(244)
6.1	电学单位和基准、标准	(244)
6.2	标准电池	(246)
6.3	标准电阻	(252)
6.4	标准电感	(256)
6.5	标准电容	(260)
6.6	直流电位差计	(263)
6.7	直流电桥	(268)
6.8	电流表、电压表、功率表	(271)
6.9	互感器	(276)
6.10	直流电阻箱	(282)
6.11	电学计量的发展趋势	(284)

6.12	磁场计量.....	(286)
6.13	磁通计量.....	(290)
6.14	磁性材料计量	(296)
6.15	磁带计量简介	(299)
第七章	无线电计量.....	(300)
7.1	无线电计量的频率范围.....	(300)
7.2	无线电计量的参数和分类.....	(301)
7.3	高频电压.....	(302)
7.4	Q值	(310)
7.5	功率	(317)
7.6	衰减	(323)
7.7	非线性失真	(329)
7.8	无线电计量的发展趋势.....	(331)
第八章	时间频率计量.....	(333)
8.1	时间、时刻和时标.....	(333)
8.2	时标的建立	(334)
8.3	时间频率标准器	(339)
8.4	时间频率的量值传递.....	(344)
8.5	时间频率的传递比对方法.....	(345)
8.6	时间频率计量的发展趋势.....	(348)
第九章	光辐射计量.....	(350)
9.1	<u>基本概念</u>	(350)
9.2	<u>光度</u>	(351)
9.3	<u>色度</u>	(356)
9.4	<u>辐射度</u>	(359)
9.5	<u>激光参数测量</u>	(363)

9.6	感光材料的光度计量简介.....	(367)
第十章	化学计量.....	(369)
10.1	化学计量单位——摩尔.....	(369)
10.2	标准参考物质.....	(371)
10.3	酸度计量.....	(372)
10.4	粘度计量.....	(376)
10.5	热量计量.....	(381)
10.6	湿度计量.....	(382)
第十一章	声学计量.....	(384)
11.1	声学的基本参量和单位.....	(384)
11.2	声压基准、标准的建立和传递.....	(386)
11.3	超声功率计量.....	(390)
11.4	噪声测量.....	(393)
第十二章	电离辐射计量.....	(395)
12.1	放射性核素计量.....	(395)
12.2	α 、 γ 射线计量和电子计量.....	(399)
12.3	中子计量.....	(403)
第十三章	测量误差的基本知识.....	(406)
13.1	误差的概念.....	(406)
13.2	误差的定义.....	(407)
13.3	测量误差的来源分类和“精度”.....	(408)
13.4	随机误差(又称偶然误差).....	(410)
13.5	系统误差.....	(426)
13.6	粗大误差.....	(434)
13.7	间接测量误差的合成.....	(442)
13.8	误差的综合.....	(450)

13•9	数据处理.....	(457)
13•10	最小二乘法.....	(461)

第一章 概 述

1.1 计量、测量、测试

计量、测量、测试，这三个词都是由外语译来的。三者之间既有区别，又有关系。

1.1.1 计量

计量——一般是指计量学。计量学的英语Metrology一词是由希腊语Metro与logy二字组成，意为“量度的科学”。计量的本质是人们为了获得对客观物质数量方面的认识而产生和发展起来的。概括说，计量是所有计量工作的总称。计量是通过测量的办法，确定任一物理量的大小，并保证其单位统一和量值的一致准确。计量学是一门应用科学，它的主要领域涉及：

统一的计量单位及其基准、标准的建立、复现、保持和传递。

测量装置。即把基准单位量值和同类量相比较的测量装置。

正确的测量方法。由许多国家组成法制计量委员会，共同制定检定规程，以便共同遵守。

计量学也包括物理常数和材料与物质特性的测定。

计量科学的主要研究内容是复现物理量单位和各种物理

参数的测量方法，发展新的测量手段。由于各种物理量单位和参数普遍作用于工业技术和科学实验中，并且成为其主要的性能指标，因此，计量学是以物理学为其理论基础，并把物理学的原理、单位、各种参数变成其实际内容，又以其准确的数据和严密的实验技术，促进物理学的发展。

随着物理学的发展，许多物理效应相继为人们所认识，计量科学迅速地应用这些物理效应，发展起一系列的测量手段，如在磁场作用下的能级分裂现象，即塞曼效应，被应用于铯原子频标。又如某些物质在低温下，出现电阻消失的超导现象，人们选择这些物质的临界温度作为固定点测量。在超导技术基础上，发现了约瑟夫森效应和克里青效应，为计量学家提供了有效的测量电压和电阻的手段。

随着科学技术的发展，各种需要计量的物理量不断增多。目前，我国已在五十多个物理量中，建立起一百四十二项国家基准和标准，并相应地建立了量值传递系统和管理制度，保证了全国计量单位制和单位量值的统一。

1.1.2 测量

测量——是两种物质的直接或间接的比较过程，通过比较，给出量值。测量的英语是Measurement。

由于计量也是两种物质的直接或间接的比较过程，从这一意义上说，计量是测量的组成部分。计量与测量不同的是，一般的技术测量是指用已知的标准单位对不明量值的物质进行比较，以求得该物质的数量。测量的任务是给出明确的数量概念。而计量是指用标准器具对已知量值的同类量进行比较，实现正确的测量，其任务是对测量结果给出可靠性概念，起到统一量值的作用，从技术上保证测量结果的准确和

一致,在数量上和质量上正确地反映客观物质的真实情况,使人们得到一个正确的认识。

计量与测量历来都是不可分割的,因为计量是通过测量来体现的,每当我们讲到计量工作的重要意义,总是以测量的效果来说明。如节约了能源,提高了产品质量,降低了成本,提高了劳动生产率等,这些都是在生产中进行了正确测量的结果。

1.1.3 测试

测试——是一种 试验 研究 性的测量。测试的英语是 Test。测试的范围是很广的,这往往是对一种新事物在没有固定成熟的单位量值或测量手段和测量方法的情况下而进行的一种探索性的测量。有的测试项目可用现有的计量手段,即利用已有的基准器、标准器得到解决;有的测试项目需要研究一些新的测试技术、测试方法或测试手段去解决。从历史的发展来说,人们要获得对客观物质数量方面的认识,一般都是先从测试开始,经过反复的试验和多种方法的比较,然后形成一种公认的、标准的单位量值或最妥善的测试方法和手段而固定下来。一旦确定了固定的单位量值、手段和方法以后,再求得某一物质的数量认识的活动,就应称为“测量”了。

所谓固定的单位量值、手段和方法,也是相对而言。因为现代科学研究和工业技术的发展,对测量方法和测量手段的要求是不断发展变化的。

计量、测量、测试,三者有密切的关系。计量是搞好测量的保证,测量是计量效果的具体体现;计量为测试研究提供基础条件,测试为计量开拓新的领域,提供新的技术手段和方法;测试是测量工作的先导,测量是测试工作的成熟化、固定化。

1.2 计量的产生和发展

1.2.1 计量的产生

计量是随着生产力的发展和货物与交换的出现，逐渐产生和发展起来的。计量的起源是很古老的，它是从人类的需要中产生的，是人类物质文明的一部分。自有人类历史以来，我们的祖先在从事各种生产活动和日常生活中，经过反复与自然界的事物打交道，便产生了对客观事物的数和量的认识。如加工木棒，要长短相宜；选用石器，要轻重合适；分吃食物，要份堆相等，等等。从而逐渐形成了长与短、轻与重、大与小、多与少的数量概念。人们最初是用自身的眼、手、脚的某些感觉和部位来比较估量事物的数量，进而选用自然界某些比较稳定少变的物体做标准，进行简单的比较测量，产生了原始的计量方法。如结绳记事，刻木记日，滴水记时，伸掌为尺，手棒为升，迈步定亩等。

随着生产力的发展，私有制和阶级社会的产生，以及贸易和手工业的发展，人类社会的文化水平提高了，生产社会化了。在生产和生活中，最初使用的那种手比脚划、论件估堆等只适用于原始的简单劳动的计量方法，已经不能满足新的社会生产的需要了，从而逐渐出现了使用实物制作的测量长度、质量、体积、容积的各种尺、斗、秤器具，过去俗称为度量衡。这些度量衡计量器具，随着生产的发展和交换的需要，由简单到复杂，由粗糙到精细，逐步地发展起来，日益完善，进而得到法律的规定。度量衡计量器具的产生和发展，对于当时生产的发展，起到了积极的作用，成为古代计量技

术的主要标志。

1.2.2 计量与生产的关系

计量与生产有着十分密切的关系。从人类社会发展的各个不同的历史阶段来看，由于社会生产力发展水平的不同，计量技术的手段和作用有很大的差别。古代的生产和科学技术的发展是缓慢的，而古代计量技术的发展也是为了满足生产和科学技术的需要而发展的。概括说，有什么样的生产力，就有什么样的计量技术。延续了几千年的奴隶社会和封建社会，由于生产力还比较低，而反映那时生产力水平的计量技术也就比较简单，常见的只有尺、斗、秤等少数的计量器具。

生产力不断的发展，促进了计量技术的发展，计量技术的发展，反过来又对生产力的发展起到了十分重要的作用。生产力由低级向高级发展，是人们在生产实践过程中，把生产的技能和生产的经验一点一滴的积累，一代一代的继承和发展，使生产力不断地发生变革来完成的。而计量技术也随着生产力的发展，不断发生变革，才能适应生产力发展的需要。

在封建社会末期，从十六世纪到十七世纪中，由于手工业、科学、艺术以及建筑学等开始了蓬勃的发展，有必要计量各种新出现的量，随之也就出现了温度计、湿度计、压力计等不少计量器具。继后，由于蒸气机的发明和机械动力的使用，产生了功率，出现了用以计量它们的单位，即马力等。从十九世纪以来，随着生产和科学技术的不断发展，陆续产生了光学、电磁学，放射性等许多物理量单位需要进行计量，计量技术得到了重大发展，计量的作用产生了极大的变化，计

量的范围不仅越来越广，而且发展成为人们认识客观物质世界的一种重要的科学技术手段了。

1·2·3 计量的发展

如果说人类使用度量衡计量器具是标志奴隶社会和封建社会手工业作坊时代的计量技术水平的话，那么到了资本主义社会，由于生产的机械化和自动化，计量技术就其深度和广度来说，则比度量衡时代不知要扩大了多少倍。以尺、斗、秤来说，现在已经有了很大的发展，如尺，除日常生活中和一般生产中常见的各种尺以外，在现代工业生产中，由于产品的精度要求很高，已经有了各种各样特殊的尺，如千分尺、游标卡尺、百分表等。从千分尺来看，其测量精度可达四个微米，相当于一根头发丝的十八分之一。这对保证各种机械零件加工尺寸的准确性，起着重要的作用。对于一些高精度的测量还有很多长度计量仪器，如测长仪、万能工具显微镜、激光干涉仪等。从测量技术上来说，如生产一个齿轮，既要测量它的齿形、齿厚、齿距、基节、齿向、公法线、渐开线和螺旋等二十多个技术数据，又要测出构成齿轮材料的化学成分、金相组织、耐磨强度和承受冲击的能力等等。对一般竹木尺来说，要完成上述测量任务是望尘莫及的。从斗来看，斗是已被淘汰了的计量工具了，现在使用的斗都是一些变相的斗，如实验室用的量筒、量瓶、量杯以及储存石油、煤气的大罐等等。秤的发展也是很大的，花样就更多了，除平时常见的木杠秤、台秤、案秤和大地秤外，还有秤车辆载重用的轨道衡、电子自动秤等。炼钢时，需要对投入的原材料过秤，过去司秤员忙于打秤铤，看标尺，满足不了生产的需要，现在使用电子轨道衡，自动数字仪表立

即反映出它的重量，加快了过秤的速度。电子轨道衡还有更重要的作用，当炼钢炉内的钢水倾入可容纳几十吨的钢包后，需要马上知道钢包内钢水的准确质量，以便确定浇铸多少钢锭。这是在几十吨的质量和一千多摄氏度的高温环境下进行的，决非一般的秤所能胜任。电子轨道衡就可避免由于不知道钢包内钢水的准确质量而造成短锭报废或余钢回炉的浪费现象。

综上所述，尺、斗、秤已经发生了很大变化，再用度量衡的概念已不能概括现代计量的全部面貌了。现代计量涉及到了各个科学技术领域，测量精度达到了非常精密的程度。计量手段也远非度量衡所能比拟，已由手动计量发展到了自动计量，由被动计量发展到了主动计量，由静态计量发展到了动态计量，由近测发展到了遥测等。计量测试的仪器，已由一般机械传动原理发展到了光学、气动以及光、机、电相结合的新型设备，更先进的还采用了激光、超导等新技术。

现代计量技术，不仅要测量某些物质的外部因素，即形状、大小、位置、轻重等，而且还要对构成物体（或物质）的内在因素，如物理、化学性能等，进行定性定量分析。

随着生产和科学技术的不断发展，计量已发展成为一门独立的科学——计量学。计量工作已成为国家经济建设的一个重要组成部分。

1.2.4 我国计量发展简况

1) 我国古代度量衡简况

我国早在商代，就出现了牙尺。从商代出土的牙尺看，尺面刻画为十等分，每等分又分为十格。这证明早在公元前十六世纪我国就已经用十进位制了。春秋战国时期，生产的