



计量测试技术

JILIANG CESHI JISHU

全卫国 李国光 苏杰 赵玉辉 编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



计量测试技术

全卫国 李国光 苏杰 赵玉辉 编著

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

计量测试技术/全卫国等编著. —北京: 中国计量出版社, 2006. 8

ISBN 7-5026-2489-9

I. 计… II. 全… III. 计量—测试技术 IV. TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 087815 号

内 容 提 要

本书系统介绍了计量测试技术的基本理论和实际应用。重点介绍了温度、压力、流量等热工参数以及电磁参数的计量测试方法; 对自动检定系统特别是基于虚拟仪器的自动检定技术做了详尽的介绍。

本书可供电力、石化、冶金、机械等行业的计量测试工程技术人员及管理人员参考, 也可作为高等学校相关专业的教材和参考书。

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>

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 17 字数 409 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 29.00 元

前 言

当前,随着科学技术的发展和工业生产自动化程度的提高,对计量测试技术的要求也不断提高,许多工业企业急需专业的计量测试人员和技术参考书。而现有的计量类技术书籍,要么过于专业,一本书只介绍一种工业参数的计量测试问题;要么过于笼统,一本书包罗万象,几乎容纳了所有的计量测试问题。本书就是针对这一现状组织编写的。

本书在编写过程中,注重从行业观点上组织内容,特别是从电力行业的需求出发,在注重计量学基础知识介绍的同时,着重论述了热工参数和电磁参数的计量测试问题。通过本书的学习,可以对计量测试的基本理论和方法有一定的了解,对特定的工业参数(如热工量、电磁量)的计量测试技术有一个系统的了解和掌握。现代计量技术的一个重要发展方向就是基于计算机技术的自动检定技术,本书全面介绍了自动检定系统,并对虚拟仪器及其在自动检定技术中的应用做了较为详尽的介绍。

本书的主要内容包括:计量学基础知识;热工参数及仪表的计量检定方法;电磁参数的计量检定方法;自动检定系统的构成、工作原理及实现途径;虚拟仪器技术的原理及在计量检定工作中的应用等。本书内容具有新颖性、系统性和实用性,既可供电力、化工、石油、冶金、机械等工业部门从事计量测试工作的工程技术人员、计量测试管理人员参考,也可作为高等学校工业自动化、检测技术与仪器等专业的教材及教学参考书。

本书第一、第二、第四、第八、第十一、第十二章由仝卫国编写;绪论、第三章、第五章第一节和第二节、第六章第三节部分内容由苏杰编写;第九、第十章由赵玉辉编写;其余章节由李国光编写。全书由仝卫国统稿。在本书编写过程中,陈建国老师以及郭晓丽、李雅娴和闫子峰等同学给予了一定的帮助;华北电力大学自动化系的领导和测控教研室的老师给予了大力的支持和协助,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中的疏漏及错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年4月

目 录

绪 论	(1)
-----------	-------

第一篇 计量学基础知识

第一章 计量学概论	(3)	处理	(24)
第一节 计量学概述	(3)	一、随机误差的分析与处理 ..	(24)
一、计量与计量学	(3)	二、系统误差的分析与处理 ..	(30)
二、计量学的分类	(3)	三、粗大误差的分析与处理 ..	(32)
三、计量的特点	(4)	第三节 间接测量误差的分析与	
第二节 量和单位	(5)	处理	(34)
一、量和量纲	(5)	一、间接测量中系统误差的	
二、计量单位	(6)	传递	(34)
第二章 量值传递与计量检定	(11)	二、间接测量中随机误差的	
第一节 量值传递	(11)	传递	(35)
一、量值传递的概念	(11)	三、误差分配	(35)
二、量值传递的方式	(11)	四、微小误差取舍准则	(36)
三、计量基准与计量标准	(12)	第四节 测量不确定度	(36)
四、计量基准与计量标准的发展		一、测量不确定度的概念	(36)
趋势	(13)	二、标准不确定度的评定	(37)
第二节 计量检定	(15)	三、测量不确定度的合成	(38)
一、计量检定的概念与分类 ..	(15)	四、测量不确定度应用实例 ..	(40)
二、检定方法与检定步骤	(16)	第四章 计量管理与监督	(43)
三、计量检定系统表与计量检定		第一节 计量管理的任务与	
规程	(18)	体系	(43)
四、分度、标定与比对	(20)	一、计量管理的任务	(43)
第三章 测量误差与不确定度	(22)	二、计量管理体系	(43)
第一节 测量误差的概念	(22)	三、计量管理的基本原则	(44)
一、测量误差的来源	(22)	第二节 计量管理的内容与	
二、测量误差的分类	(22)	方式	(45)
三、测量误差的表示	(23)	一、计量管理的主要内容	(45)
第二节 直接测量误差的分析与		二、计量管理的方式	(45)

第二篇 热工参数的计量

第五章 温度计量	(47)	四、压力量值的传递	(103)
第一节 概述	(47)	第二节 压力标准器	(105)
一、温度与温度计量	(47)	一、标准 U 形管压力计	(105)
二、测温仪表的分类	(48)	二、补偿式微压计	(111)
第二节 常用测温仪表简介	(49)	三、二等标准液体压力计	(113)
一、热电偶温度计	(49)	四、活塞式压力计	(119)
二、热电阻温度计	(54)	五、双活塞压力真空计	(128)
三、辐射式高温计	(57)	第三节 常用压力计的检定	(131)
第三节 国际温标	(60)	一、液体压力计的检定	(131)
一、温标的发展历史	(60)	二、弹簧管式压力表的检定	(133)
二、ITS-90 国际温标简介	(61)	三、活塞式压力计的检定	(136)
第四节 温度计量器具检定系统	(68)	四、压力变送器的检定	(140)
第五节 热电偶温度计的检定	(71)	第七章 流量计量	(146)
一、标准热电偶	(71)	第一节 概述	(146)
二、热电偶的检定方法	(73)	一、检定方法与检定系统	(146)
三、检定要求及检定设备	(77)	二、流量标准装置的分类	(147)
第六节 热电阻温度计的检定	(78)	第二节 静态容积法水流量标准装置	(150)
一、标准铂电阻温度计	(78)	一、结构及工作原理	(150)
二、标准铂电阻温度计的检定	(82)	二、标准装置的技术要求及特点	(151)
三、工业铂电阻温度计的检定	(84)	三、水流量标准装置的误差	(153)
第七节 辐射高温计的检定	(86)	第三节 静态质量法液体流量标准装置	(156)
一、标准检定装置	(86)	一、结构及工作原理	(156)
二、标准温度灯和标准光学高温计的检定	(93)	二、影响测量准确度的因素及修正	(157)
第六章 压力计量检定	(99)	第四节 标准体积管流量标准装置	(161)
第一节 概述	(99)	一、标准体积管的种类	(161)
一、压力计量检定技术的发展	(99)	二、三球、无阀、单向型标准体积管基本结构及工作原理	(162)
二、压力计量检定基础知识	(100)	三、影响标准体积管流量测量的因素及修正	(163)
三、压力计量中的常用参数	(101)	第五节 气体流量标准装置	(164)

一、钟罩式气体流量标准装置	(164)
二、音速喷嘴	(166)
三、pVT 法气体流量标准装置	(168)

第六节 标准节流装置的检定	(170)
一、几何检定法	(170)
二、系数检定法	(182)

第三篇 电磁参数的计量

第八章 电磁计量概述

第一节 概述

一、电磁计量及其特点	(185)
二、电磁计量的分类	(185)
三、电磁计量的发展方向	(186)

第二节 电磁学计量单位及标准

一、电学计量单位的确定	(187)
二、磁学计量单位的确定	(194)

第九章 电学量的计量

第一节 直流电阻的检定

一、直流电阻检定系统	(196)
二、标准电阻的检定	(197)

第二节 直流电压的检定

一、直流电压的检定系统	(201)
二、标准电池的检定	(202)

第三节 电容的检定

一、标准电容的计量检定	
-------------	--

系统	(206)
----------	-------

二、标准电容的检定	(208)
-----------------	-------

第四节 电感的检定

一、标准电感的计量检定系统	(210)
---------------------	-------

二、标准电感的检定	(210)
-----------------	-------

第五节 交流电量的计量

一、交流电流与电压的计量 ..	(214)
二、交流功率和电能的计量 ..	(216)

第十章 磁学量的计量

第一节 磁通计量

一、磁通标准	(218)
二、磁通计量器具的检定	(219)

第二节 磁感应强度的计量

第三节 磁性材料磁特性的

计量	(222)
----------	-------

一、直流磁特性计量	(222)
-----------------	-------

二、交流磁特性计量	(224)
-----------------	-------

第四篇 自动检定技术

第十一章 自动检定系统

第一节 自动检定系统概述

一、自动检定系统的概念与特点	(227)
----------------------	-------

二、自动检定系统的分类	(229)
-------------------	-------

三、自动检定系统的发展趋势	(230)
---------------------	-------

第二节 自动检定系统的结构

一、自动检定系统的硬件组成	(231)
---------------------	-------

二、自动检定系统的软件组成	(232)
---------------------	-------

第三节 基于单片机的自动检定

系统·····	(233)
一、硬件电路结构·····	(233)
二、软件结构·····	(235)
三、基于单片机的自动 检定系统的设计·····	(236)
第四节 基于 PC 机或工控机的 自动检定系统·····	(237)
一、系统结构·····	(238)
二、标准接口系统·····	(239)
三、基于 PC 机的自动检定系统的 设计·····	(245)
第五节 分布式自动检定 系统·····	(246)
一、基于内部网络的分布式自动 检定系统·····	(246)
二、基于现场总线的分布式自动 检定系统·····	(247)

第十二章 虚拟仪器·····	(249)
第一节 虚拟仪器概述·····	(249)
一、虚拟仪器的概念及特点·····	(249)
二、虚拟仪器的构成·····	(250)
三、虚拟仪器的数据采集·····	(253)
第二节 LabVIEW 编程 语言·····	(257)
一、概述·····	(257)
二、LabVIEW 的特点·····	(258)
第三节 虚拟仪器的设计与 应用·····	(258)
一、虚拟仪器设计的主要内容及 步骤·····	(258)
二、虚拟仪器在热电偶自动检定 中的应用·····	(260)
主要参考文献·····	(264)

绪 论

计量是实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量学是关于测量的科学。在技术科学和工程中，过程参数都需经过测试和计量才能得出结果。测量的精度和效率，决定着科学技术和工业的水平。计量和测试是促进技术科学进步的重要因素。

计量测试的主要任务是保证测量结果的准确和一致。在工业生产中，通过传感器、仪表装置检测过程参数和状态参数的量值，通过输出信号提供给操作人员或自动控制系统，以保证工业生产能正常、安全、经济地运行。因此，传感器、仪表装置的性能（准确度、稳定性、灵敏度等）必须符合使用要求，否则难以完成上述任务。评价并确定这些传感器、仪表装置的计量性能是否合格的全部工作称为仪表的检定。

对检测仪表进行检定需要有标准量，能够复现标准量的仪器仪表及装置称为标准器或标准仪表。标准器的计量性能是否合乎要求则需要用更高一级的标准器来进行检定。从国家最高等级的标准器向下逐级进行检定的工作称为量值传递。检定是量值传递过程中的具体技术工作，量值传递中涉及的许多科学与技术问题也是计量技术的很重要的内容。要完成从标准器到工作计量器具的量值传递工作需要很多理论和技术知识，需要定义量值单位并复现，规定标准器，确定量值传递系统，规定数据处理方法，建立仪表计量性能评价标准等，这些内容都是计量测试技术的重要内容。

概括起来说，计量测试的内容主要包括：

(1) 建立统一的计量单位，它应具有足够的科学性和公认的定义，并有一定的换算关系；

(2) 按照规定的定义，建立能够复现计量单位的计量基准或标准；

(3) 建立将计量量值从计量基准到测量现场工作计量器具的逐级传递的量值传递系统；

(4) 按照量值传递系统的规定，对工业计量器具进行计量检定。

计量测试工作有效地保证了工业生产的正常进行。同时，计量测试工作又有一套比较完善且行之有效的理论和方法，具有不同于其他工作的特点。计量检定技术属于一种专用技能，需要专门培养和考核才能胜任。

以电力行业为例，随着我国经济的发展和人民生活质量水平的不断提高，对电力的需求也在不断增长，电力生产部门的生产负荷不断增加，对计量工作的要求也在不断提高。电力行业计量系统的建立、标准量具和专用测试装置的使用、检定规程和技术规范的制定等都需要根据本行业的特点按不同要求分别加以确定，特别是随着许多新技术的开发和应用，使计量测试工作呈现出许多不同于以往的新景象。

在电力系统中，发电厂需要测量大量的过程参数和状态参数。这些参数主要包括热工参数、电磁参数以及振动、位移、转速等机械量。其中，热工参数是与热工过程相关的物理

量,包括温度、压力、流量、液位等非电物理量。电磁参数是指与电磁现象有关的物理量,包括电压、电流、功率因数及频率、谐波分析等电气量和磁性材料、磁场强度等磁学量;电磁参数也是供电部门、电网、变电站所需要监测的参数。这些参数涉及多个专业,对于它们的计量也涉及计量学的多个分支,如热工量计量、电磁量计量以及机械量计量等。随着测控技术的发展,发电厂的生产部门所需的仪器设备大量增加。一个 300 MW 的发电机组需要超过 3 000 台的传感器及其配套的变送器及监控仪表,一个大型发电厂所拥有的仪器设备可达上万台,这些仪器设备的性能是否能合乎要求直接关系到发电厂的安全经济运行。计量测试工作是保证仪器设备正常运行的必要手段和技术支持,因而各个发电厂对计量测试工作的重视程度越来越高,计量测试工作已经成为电力系统安全高效生产的基本条件。

传统检定方法的缺点是费时费力,操作烦琐且可能产生遗漏,而自动检定系统恰恰可以弥补这些不足。自动检定系统就是有计算机参与,能够自动进行计量(检定)、数据处理并显示结果的智能计量(检定)系统,具有检定精度高,适用范围广,可以进行现场在线的计量检定,操作方便,可自动进行数据交换和处理,检定效率高,出错率少等优点。自动检定技术代表了计量测试技术的发展方向。

虚拟仪器通过应用程序将通用计算机与功能化硬件结合起来,用户可通过友好的图形界面进行操作,从而完成对被测量的采集、分析、判断、显示和数据处理等,犹如在操作自己定义、自己设计的仪器一样。这种集计算机技术、通信技术和测量技术于一体的模块化仪器在检测技术领域、仪器仪表领域得到了广泛应用。基于虚拟仪器的自动检定技术已经成为自动检定技术的一个重要分支,具有良好的发展前景。

第一篇 计量学基础知识

第一章 计量学概论

第一节 计量学概述

一、计量与计量学

在我国古代，计量被称作“度量衡”，且仅限于用“尺、斗、秤”进行的计量，即长度、体积和质量的计量。随着科学技术和生产力的不断发展，计量的适用范围日益扩大，内容不断充实，计量学已远远超出了“度量衡”的范畴。我国现代计量测试工作始于20世纪50年代，经过数十年的发展和积累，已建成了门类齐全，覆盖全国的计量测试网络和体系，在生产、科研和经济贸易中发挥着重要的作用。

一般认为，计量就是用一个规定的标准已知量与同类型的未知量相比较而加以测定的过程，是实现单位统一和量值准确可靠的测量。在一定意义上，计量等同于测量，在英文表示上都是同一个词（measurement）。但计量和测量之间还是存在着很大的区别，如计量本身具有法制的含义，而测量仅指为确定被测量值而进行的全部操作，不具有法制含义。

计量学是关于测量的科学。它也是关于测量理论与实践的一门学科，是现代科学的重要组成部分。计量学的研究内容概括起来主要有三个方面，即计量理论、计量技术和计量管理。具体内容包括：

- (1) 研究计量单位及其基准、标准的建立、复制、保存和使用；
- (2) 研究计量方法和计量器具的计量特性；
- (3) 研究计量的不确定度；
- (4) 研究计量人员的计量能力以及计量法制和管理。

此外，计量学的研究内容也包括研究物理常数、标准物质和材料特性的准确测定等。随着生产发展和科技进步，计量学的内容也会不断丰富和发展。

二、计量学的分类

- (1) 目前，我国按计量专业划分为几何量、热工、力学、电磁学、电子学、时间频率、

电离辐射、光学、声学、化学等十大计量领域，每一领域又由若干分项技术组成。

(2) 根据任务的性质，计量学又可分为通用计量学、理论计量学、应用计量学和法制计量学等。

其中，通用计量学研究的是计量学中带有共性的问题。如计量单位的一般知识，单位的换算和单位制；测量误差与数据处理及测量的不确定度；计量器具的计量特性问题等。

理论计量学是关于计量理论问题的计量学。如关于量和计量单位的理论、计量误差理论、计量信息论等。

应用计量学研究的是计量学在特定领域中的应用，是涉及具体物理现象的计量技术。如天文计量、工业计量、气象计量、海洋计量、医疗计量等。

法制计量学研究的是与计量单位、计量器具和计量方法有关的法制、技术和行政管理。如确定法定计量单位、法定计量机构；建立法定计量基准和标准；制定和贯彻计量法律和法规，进行计量检定；对制造、修理、销售、进出口和使用中的计量器具实行依法管理；保护国家、集体和公民免受不准确和不诚实测量的危害；以立法形式实行强制的计量监督等。

(3) 国际法制计量组织根据计量学的应用领域，分为工业计量学、商业计量学、天文计量学和医用计量学等。

三、计量的特点

概括起来说，计量应具有准确性、一致性、溯源性和法制性等四个基本特点。

(1) 准确性 准确性是计量的基本特点。它表征的是计量结果与被测量的真值的接近程度。计量不仅应给出被测量的量值，而且还要给出该量值的不确定度（或误差范围），即准确度。否则，计量结果便不具备充分的社会使用价值。所谓量值统一，就是指在一定准确程度内的统一。

(2) 一致性 计量单位的统一是量值一致的重要前提。在任何时间，任何地点，采用任何计量方法，使用任何计量器具以及任何人进行计量，只要符合计量的有关要求，计量结果就应在给定的不确定度（或误差范围）内一致。计量的一致性，不仅适用于国内计量，也适用于国际计量。

(3) 溯源性 为了保证计量结果的准确一致，所有同种类的量值都必须由同一个计量基准（或原始标准）传递而来。也就是说，任何一个计量结果，都能通过连续的比较而溯源到计量基准，这就是溯源性。可以说，溯源性是准确性和一致性的技术保证。在一个国家内，所有的量值都应溯源到国家计量基准；在国际上，则应溯源到国际计量基准或约定的计量基准。否则，量值出于多源，不仅无准确一致可言，而且会造成技术和应用上的混乱，以致酿成严重后果。

(4) 法制性 计量本身的社会性就要求有一定的法制保障。量值的准确一致，不仅要求有一定的技术手段，而且还要有相应的法律、法规和行政的管理。特别是那些对于国计民生有显著影响的计量，诸如社会安全、医疗保障、环境保护以及贸易结算中的计量，更必须要有法制的保障。否则，量值的准确一致便不能实现，计量的作用也无从发挥。

第二节 量和单位

一、量和量纲

1. 量的概念

量是描述自然界物质运动规律的一个最重要的概念。量按其性质可以分为可测量和可数量两种。

其中，可测量表示现象、物体或物质的可定性区别和定量确定的属性，简称量。由定义可知，被研究的对象可以是自然现象，也可以是物质本身，一般可视为物理量，如长度，时间，热力学温度等。

可数量是指不能通过测量得到的量，也可称为统计量。如3个苹果，8支铅笔，10辆汽车等。可数量主要侧重于说明被测个体的数目，而不强调被测对象的单位（个、支、辆等）。因此，可数量实际上仍然是一个“数”的概念，不属于“量”的范畴。所以，在不加以说明的情况下，通常所指的量都是指可测量。

在科学研究、生产实践以及人类活动的各个领域，人们经常需要对各种量进行测量，并以相应的单位表示结果。这些测量构成了科学技术的基础。由此可见，量和单位对于科学技术和国民经济的发展以及人民生活水平的提高都具有重要的意义。

2. 量的分类

在科学技术的各个领域，需要使用许多种量。根据量在计量学中所处的地位和作用，量有很多不同的分类方法。一般情况下，量可分为基本量和导出量两类。

各个量之间存在确定关系的一组量，称为量制。在量制中，约定地认为在函数关系上彼此独立的量，称为基本量。例如，力学领域公认的基本量有三个：长度、质量和时间。在量制中，由基本量的函数所定义的量，称为导出量。如，速度量定义为位移（长度）与时间的比值，所以速度就是一个导出量；其他的如力、功率、电阻、电感等都是导出量。

通常用基本量符号的组合，作为特定量制的缩写名称。例如，基本量为长度 l 、质量 m 和时间 t 的力学量制的缩写名称为 (l, m, t) 量制。

3. 量纲

在量制中，构成导出量的一些基本量的幂的乘积表达式称为量纲。由基本量的幂的乘积来表示导出量的表达式，称为量纲公式，简称量纲式。量纲皆以大写的正体拉丁字母和希腊字母表示。

由于量纲式的系数恒为1，所以量纲式表达的只是导出量与基本量之间的定性关系。基本量的量纲就是它本身。在国际单位制（SI）中，规定的7个基本量的量纲为：长度— L 、质量— M 、时间— T 、电流— I 、热力学温度— Θ 、物质的量— N 和发光强度— J 。

导出量的量纲为基本量的幂积的表达式。例如，速度 v 的定义是

$$\text{速度} = \text{距离} / \text{时间}$$

距离（长度）的量纲为 L ，时间的量纲为 T ，它们都是基本量。因此，速度的量纲式为

$$\dim v = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

导出量力 F 的定义为

$$力 = 质量 \times 加速度$$

所以，力的量纲式为

$$\dim F = M \frac{L}{T^2} = LMT^{-2}$$

在量纲表达式中，基本量量纲的指数全部为零的量，称作无量纲量。所以，无量纲的量是一个纯数。如线性形变、摩擦系数、折射率、马赫数等都是无量纲量。对于无量纲量，其单位是数字 1，表示其量值时一般不明确写出单位 1。但数和单位还不完全一样，单位前可以加词头构成倍数单位，而在 1 前面加词头构成倍数单位就不合适了。

二、计量单位

1. 单位的概念

计量单位是用以定量表示同种量的大小而约定地定义和采用的特定量。表示计量单位的约定符号称为单位符号。如米、千克、秒就是计量单位，它们的单位符号分别为 m ， kg ， s 。计量单位是同种量值比较的基础。用数和一定的计量单位相乘表示的物质的量称为量值。如 $1\ m$ ， $2\ kg$ ， $3\ s$ 等。量值单位有明确的定义和名称，是数值为 1 的固定量。

需要特别说明的是，量的大小是物质的一种客观属性，与所选择的单位无关，而量值则因所选择的单位不同而表现出不同的数值。

2. 单位制

单位制是为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。单位制是由一组选定的基本单位和由定义方程式与比例因数确定的导出单位组成的一个完整的单位体制。

基本单位可以任意选定。由于基本单位选择的不同，所以组成的单位制也就不同。如市制、英制、米制和国际单位制等。在国际单位制形成之前，世界范围内使用的单位制有多种，其中主要有米制和英制。多种单位制并存的情况极大地阻碍了生产力的发展和科学技术与文化的交流，因此统一单位制成为世界各国的共同需要。国际计量委员会（CIPM）在 1956 年将经过 21 个国家同意的计量单位制草案命名为国际单位制，以国际通用符号 SI 来表示。1960 年第十一届国际计量大会正式通过了 SI。随后，一些国际组织，如国际法制计量组织（OIML）和国际标准化组织（ISO）等，也采用了国际单位制。

给定量制中基本量的计量单位，称为基本单位。在国际单位制中，基本单位有 7 个，即长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量、发光强度。在给定量制中，基本量约定地认为是彼此独立的，但是相对应的基本单位并不都是彼此独立的。如电流是独立的基本量，但它的单位“安培”的定义中，包含了基本单位米、千克和秒；又如，在长度单位“米”的定义中，包含了基本单位秒；发光强度单位“坎德拉”的定义中，包含了功率单位瓦特，从而与米、千克和秒有关。

给定量制中导出量的计量单位，称为导出单位。在单位制中，导出单位可以用基本单位和比例因数表示。对于有些导出单位，为了使用方便，给予了专门的名称和符号。如在 SI 中，力的单位名称为牛 [顿]，符号为 N；能量的单位名称为焦 [耳]，符号为 J；电势的单位名称为伏 [特]，符号为 V 等。

可由比例因数为 1 的基本单位幂的乘积表示的导出单位，称为一贯单位。由一组基本单位和一贯导出单位组成的单位制，称为一贯单位制。所以，一贯单位是导出单位。在国际单位制中，全部 SI 导出单位都是一贯单位。但 SI 单位的倍数和分数单位不是一贯单位。

在长期的计量实践中，对于不同的计量对象，需要选用大小适当的计量单位。人们往往从同一种量的许多单位中选用某个单位为基础，并赋予独立的定义，从而形成“主单位”。所以，主单位就是具有独立定义的单位，而倍数单位和分数单位是按主单位来定义的单位。按约定比率，由给定单位形成的一个更大的计量单位，称为倍数单位。如千米是米的一个十进倍数单位；小时是秒的非十进倍数单位。按约定比率，由给定单位形成的一个更小的计量单位，称为分数单位。如毫米是米的一个十进分数单位，克是千克的一个十进分数单位。设立倍数和分数单位的目的是为了使用方便。一个主单位往往不能适应各种需要，但在使用中，一定要注意单位的一致性和可对比性。为了测量和计算的精确，尽量使用相同的单位。

3. 国际单位制 (SI)

(1) 国际单位制的建立

国际单位制是由米制充实完善后得到的一种单位制。米制名称的由来是因为这种单位制最初只选择了一个基本单位——米，其他单位都由米导出的。其长度单位为米，等于地球子午线的四千万分之一；质量单位千克由米导出，等于 1 立方米水的质量。1795 年 4 月 7 日，法国政府颁布法令，使米制在法国首先合法化。1799 年 12 月 10 日，确定了铂基准原器“档案米尺”和“档案千克”作为米和千克的值。1840 年 1 月 1 日起开始实行米制。

由于米制简易、适用，其他国家也开始采用。1875 年，20 个国家的代表在巴黎举行了米制外交大会，签署了“米制公约”。该公约规定：在法国设立国际计量局 (BIPM)，国际计量局由国际计量大会 (CGPM) 和国际计量委员会 (CIPM) 管辖。其目的是保证米制在国际间的统一和发展。我国政府于 1977 年 5 月 20 日在该公约上签字。

1948 年召开的第九届国际计量大会做出决定，要求国际计量委员会创立一种简单而科学的供所有米制公约成员国均能使用的实用单位制。1954 年第十届国际计量委员会决定采用“米、千克、秒、安培、开尔文和坎德拉”作为基本单位。1960 年第十一届国际计量委员会决定将以这 6 个单位为基础单位的实用计量单位制命名为“国际单位制”，并规定其符号为“SI”。1974 年第十四届国际计量大会又决定增加物质的量的单位“摩尔”作为基本单位。因此，目前国际单位制共有 7 个基本单位。

国际单位制作为国际计量大会推荐采用的一种一贯单位制，是一种比较科学和完善的单位制。它具有以下特点：

1) 科学性 国际单位制以反映物质世界基本性质的物理量作为单位基础，能以数学方程式形式表示物理现象，并构成物理单位。

2) 通用性 国际单位制包括了科学技术和国民经济各个领域的计量单位，几乎可以代

替所有其他单位制和单位；不仅适用于科学技术领域，也适用于商品流通及人民生活各领域。

3) 简明性 采用国际单位制可以取消其他单位制的一些单位，明显地简化了量的表达式，省略了各个单位制之间地换算，避免了多种单位制的并用，消除了很多混乱现象。

4) 实用性 国际单位制的基本单位和大多数导出单位的主单位量值都比较实用，而且保持了历史连续性，适应各类计量的需要。

5) 准确性 国际单位制的 7 个基本单位，都有严格的科学定义。目前，除质量单位外，其他 6 个基本单位都实现了自然基准，并达到了较高准确度的复现和保存，其相应的计量基准代表了当代科学技术所能达到的最高计量准确度，从而最终保证了测量的单位统一和量值传递的准确可靠。

(2) 国际单位制 (SI) 的主要内容

1) SI 基本单位及其定义

国际单位制 SI 中的基本单位有 7 个，它们是：米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔和坎德拉，其对应的量的名称、单位符号和定义见表 1-1。

表 1-1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	单位定义
长 度	米	m	米是光在真空中 (1/299 792 458) s 时间间隔内所经路径的长度
质 量	千克 (公斤)	kg	千克等于国际千克原器的质量
时 间	秒	s	秒是铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9 192 631 770 个周期的持续时间
电 流	安 [培]	A	在真空中，截面积可忽略的两根相距 1 m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时，若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} N，则每根导线中的电流为 1 A
热力学温度	开 [尔文]	K	开尔文是水三相点热力学温度的 1/273.16
物质的量	摩 [尔]	mol	摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 0.012 kg 碳-12 的原子数目相等。在使用摩尔时，基本单元应予以指明，可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子，或是这些粒子的特定组合
发光强度	坎 [德拉]	cd	坎德拉是一光源在给定方向上的发光强度，该光源发出频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为 (1/683) W/sr

2) SI 导出单位

SI 导出单位是由 SI 基本单位按定义方程式导出的。具有专门名称的 SI 导出单位共有 19 个，其中 17 个是以著名科学家的名字命名的，如牛顿、帕斯卡、焦耳等。SI 导出单位对应的量的名称、单位符号和表达式见表 1-2。

表 1-2 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 基本单位的关系
[平面] 角	弧 度	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m} = 1$
立体角	球面度	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
频率	赫 [兹]	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
力	牛 [顿]	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}^2$
压力, 压强, 应力	帕 [斯卡]	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
能 [量], 功, 热量	焦 [耳]	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
功率, 辐 [射能] 通量	瓦 [特]	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
电荷 [量]	库 [仑]	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
电压, 电动势, 电位, (电势)	伏 [特]	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
电容	法 [拉]	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
电阻	欧 [姆]	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
电导	西 [门子]	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
磁通 [量]	韦 [伯]	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
磁通 [量] 密度, 磁感应强度	特 [斯拉]	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
电感	亨 [利]	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$
光通量	流 [明]	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
[光] 照度	勒 [克斯]	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$
[放射性] 活度	贝可 [勒尔]	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
吸收剂量, 比授 [予] 能, 比释动能	戈 [瑞]	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
剂量当量	希 [沃特]	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$

3) SI 词头

为了表示某种量的不同值, 只有一个主单位显然是不够的。SI 词头的功能就是与 SI 单位组合在一起, 构成十进制的倍数单位和分数单位。在国际单位制中, 共有 16 个 SI 词头, 见表 1-3。

表 1-3 用于构成十进制倍数和分数单位的 SI 词头

因 数	词头名称	词头符号	因 数	词头名称	词头符号
10^{24}	尧 [它]	Y	10^{-1}	分	d
10^{21}	泽 [它]	Z	10^{-2}	厘	c
10^{18}	艾 [可萨]	E	10^{-3}	毫	m
10^{15}	拍 [它]	P	10^{-6}	微	μ
10^{12}	太 [拉]	T	10^{-9}	纳 [诺]	n
10^9	吉 [咖]	G	10^{-12}	皮 [可]	p
10^6	兆	M	10^{-15}	飞 [母托]	f
10^3	千	k	10^{-18}	阿 [托]	a
10^2	百	h	10^{-21}	仄 [普托]	z
10^1	十	da	10^{-24}	么 [科托]	y

4) 我国的法定计量单位

1984 年 2 月 27 日, 国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》中规定, 我国的计量单位一律采用《中华人民共和国法定计量单位》。