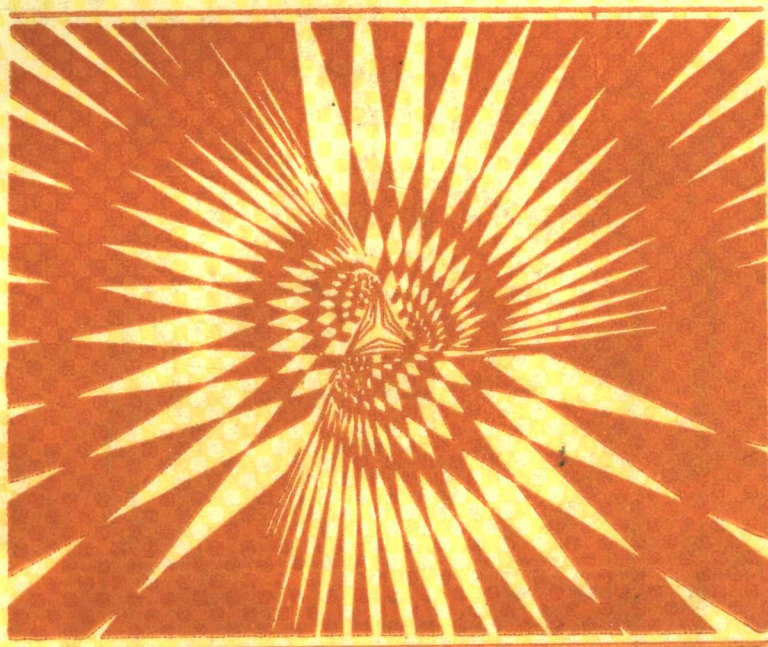


高等学校教材

电气测试技术

主编 李颂伦



西北工业大学出版社

高等学校教材

电气测试技术

主编 李颂伦
编者 李颂伦 浦迈俊 郭玉琦
蔡仁钢 胡育文

西北工业大学出版社

1992年9月 西安

(陕)新登字第 009 号

【内容简介】 本书主要讲述电气测试技术基础知识、测试方法与微机测试系统。全书分为三篇：第一篇为测量误差和测量数据处理，着重于常用公式的物理意义和具体应用；第二篇阐述电气测试的基本原理和方法，包括电、磁参数的测试，常用传感器介绍及主要非电参数的电气测量；第三篇介绍微机测试系统的基本工作原理、主要技术问题、设计方法及其应用前景。

本书是高等学校电气类本科各专业电气测试技术课教材。可供工程技术人员自学与参考。适当删选内容，可作为大专及各类成人高等教育有关专业的教材或教学参考书。

**高等学校教材
电气测试技术**

主 编 李颂伦

责任编辑 胡梦仙

责任校对 耿明丽

*

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路 127 号 邮编 710072)

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0328-9 / TP·55(课)

*

开本 787×1092 毫米 1/16 21 印张 510 千字

1992 年 9 月第 1 版 1992 年 9 月第 1 次印刷

印数：1—8000 册 定价：5.50 元

前 言

本书是根据航空高等学校教材编审委员会 1987 年 8 月所通过并于 1989 年 7 月修订的“电气测试技术”课程教学大纲要求与全国高等工业学校电气技术专业指导委员会 1989 年 5 月所通过的“检测技术”课程教学基本要求编写的。

本书是大学三年级电气技术专业限定选修课及除测试类专业外各专业本科生选修课教材。可供从事这一领域实际工作的工程技术人员自学与参考。适当删选内容，可作为大专及各类成人高等教育的教材或教学参考书。

本书分为三大部分：第一部分（第一章至四章）为测量误差和数据处理，系统地介绍测量误差和数据处理的基础知识，着重于常用公式的物理意义和具体应用，但保持了内容的科学性、严密性与完整性。第二部分（第五章至八章）为电气测试原理和方法，因涉及的面很宽，所以精选内容并把重点放在测试的基础原理与方法上，归纳为电参数、磁参数的测试方法并介绍常用传感器与主要非电参数的测试原理。第三部分（第九章至十章）为微机测试系统，阐述组成微机测试系统的主要技术问题与设计原则；介绍微机测试技术在电气测试中的应用前景。

本书第一、二、三章由李颂伦（西北工业大学）编写；§ 3-5 及第五章由郭玉琦（西北工业大学）编写；第四、六、九章及 § 8-5 至 § 8-7 由蔡仁钢（北京航空航天大学）编写；第七章由胡育文（南京航空学院）编写；§ 8-1 至 § 8-4 及第十章由浦迈俊（北京航空航天大学）编写。全书由西北工业大学李颂伦教授任主编。

在本书编写过程中，参考了许多教材、讲义，得到有关院校、研究单位及工厂的支持与帮助；特别是航空航天工业部教材编审室杨心灿同志、全国高等工业电气技术专业指导委员会徐德淦教授、周泽存教授（东南大学）不仅对本书的编写提出了宝贵的指导性意见，并且大力支持与帮助本书的出版，谨此表示衷心的感谢。

本书由西安交通大学于轮元教授主审。他在百忙中认真审阅全部书稿并提出了许多宝贵的意见，在此表示诚挚的谢意。

由于水平和时间的限制，书中可能还有缺点和错误，请广大读者批评指正。

编 者

1991 年 12 月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 测量误差与数据处理

第一章 测量的一般知识	3
-------------------	---

§ 1-1 有关测量的一些基本概念	3
§ 1-2 测量方法及其分类	4
§ 1-3 单位与单位制	5
§ 1-4 电气测量的单位制	10
§ 1-5 计量基准、计量标准及量值的传递	12
§ 1-6 测量设备的基本特性	13
思考题与习题	19

第二章 测量误差的基本概念	20
---------------------	----

§ 2-1 测量误差及其来源	20
§ 2-2 测量误差的表示方法	21
§ 2-3 测量误差的性质和分类	26
§ 2-4 有效数字及运算规则	28
思考题与习题	32

第三章 测量误差的处理	34
-------------------	----

§ 3-1 随机误差的处理	34
§ 3-2 粗大误差的处理	54
§ 3-3 系统误差的处理	62
§ 3-4 测量误差的合成与分配	68
§ 3-5 测量数据的图形处理	82
思考题与习题	87

第四章 测试信号分析	89
------------------	----

§ 4-1 信号的分类	89
§ 4-2 信号的时域分析与频域分析	90
§ 4-3 信号采样和采样定理	103

§ 4-4 随机信号分析.....	106
思考题与习题	113

第二篇 电气测试原理和方法

第五章 电参数的测量	115
§ 5-1 电压、电流和功率的测量.....	115
§ 5-2 频率的测量.....	124
§ 5-3 波形的测量.....	127
§ 5-4 阻抗的测量.....	131
思考题与习题	134
第六章 磁参数的测试	135
§ 6-1 探测线圈测磁法.....	135
§ 6-2 磁通计测磁法.....	137
§ 6-3 霍尔元件测磁法.....	141
§ 6-4 永磁材料磁特性的测试.....	142
§ 6-5 交流磁特性的测试.....	146
思考题与习题	149
第七章 常用传感器的基本原理与特性	150
§ 7-1 概述.....	150
§ 7-2 电阻式传感器.....	150
§ 7-3 电容式传感器.....	155
§ 7-4 变磁阻式传感器.....	157
§ 7-5 磁电式传感器.....	160
§ 7-6 压电式传感器.....	161
§ 7-7 热电式传感器.....	164
§ 7-8 光电式传感器.....	168
§ 7-9 半导体磁效应传感器.....	177
§ 7-10 新型传感器简介	184
思考题与习题	186
第八章 主要非电参数的测试	188
§ 8-1 概述.....	188
§ 8-2 转速的测试.....	189
§ 8-3 转矩的测试.....	197
§ 8-4 温度的测试.....	210

§ 8-5 压力的测试	218
§ 8-6 噪声的测试	224
§ 8-7 振动的测试	231
思考题与习题	241

第三篇 微机测试系统

第九章 微机测试系统的基本原理	243
------------------------	------------

§ 9-1 微机测试系统的结构与原理	243
§ 9-2 信号变换电路	247
§ 9-3 采样/保持电路	262
§ 9-4 多路转换开关电路	264
§ 9-5 A/D 及 D/A 转换器	267
§ 9-6 微机的 A/D 转换及 D/A 转换接口技术	277
§ 9-7 微机测试系统的设计	291
思考题与习题	297

第十章 微机测试技术应用展望	299
-----------------------	------------

§ 10-1 高速数据采集系统	299
§ 10-2 关于总线技术	302
§ 10-3 智能仪器	309
§ 10-4 个人仪器	319
§ 10-5 自动测试系统的发展概况	321
思考题与习题	324

附表	325
-----------	------------

附表 I t 分布在对称区间的积分表	325
----------------------	-----

附表 II 正态分布在对称区间的积分表	326
---------------------	-----

参考文献	328
-------------	------------

绪 论

一、测量的意义

测量是人类认识和改造客观世界必不可少的重要手段之一。发明元素周期表的科学家门捷列夫(Д.И.Менделеев)曾说过：“有测量才有科学。”

人们借助于专门的设备，通过实验方法对客观事物取得数量信息的过程称为测量。

在科学技术的发展过程中，人们根据对客观事物所做的大量观察和测量，形成定性和定量的认识，总结出客观世界的规律；通过观察和测量进一步检验这些规律是否符合客观实际；在利用这些客观规律改造客观世界的过程中，又通过观察和测量来检验实际效果。例如，英国物理学家瑞利(Rayleigh)在测定氮的密度时，发现用从大气中分离的氮与用化学方法制取的氮所得结果不同，经过进一步实验、测量，证实是由于大气中分离的氮还含有惰性气体的缘故，导致后来发现了惰性气体。

在现代化建设中，测量是监督保证工作质量，决定工程成败的主要手段；测量是产品制造过程中对产品质量进行监测及在产品运行过程中进行在役检测的主要手段。

在我国实现社会主义四个现代化的伟大事业中，科学技术的现代化是关键，测量技术的发展具有十分重要的地位。今天，测量技术的水平，已被公认是一个国家科学和现代化水平的重要标志之一。

二、测量、计量与测试

计量是以确定量值为目的的一组操作。一般认为，以国家法定计量单位为计值单位进行的测量属于计量的范畴。但计量工作有更广泛的内容，它包括：计量单位的确定及其基准、标准的建立、复制、保存和量值传递；研究测量方法及测量不确定度的估算；研究测量器具的特性和观测者进行测量的能力。计量工作的任务是保证量值的一致、准确和测量器具的正确使用。

对于测试，虽有不同的理解，但一般认为测试所包括的范围要宽一些，含有以下一些与测量稍有区别的涵义：

(1) 测试指某些尚未建立起正式计量标准而具有试验研究性质的测量。

(2) 测试指定性的测量。例如，判断电路中的某一晶闸管的导通或截止，判断数字电路中某一节点处于高电平还是低电平状态，都可用电压测量来判断，但这种测量和一般的电压测量有区别，称为测试以表示这种区别。

(3) 测试包括测量和试验。可以说，测试是试验和测量的全过程，既包括定量的也包括定性的测量和试验。

三、电气测试的内容和特点

电气测试泛指一切利用电气技术进行的测试及对电气系统与设备(电机、电器等)所进行的测试。电气测试通常包括以下几个方面：

- (1) 电参数的测量，如测量电压、电流、电量和电功率等。
- (2) 磁参数的测量，如测量磁感应强度、磁场强度、磁通、磁矩、磁导率、磁滞和涡流损耗等。
- (3) 电路元件参数的测量，如电阻、电感、电容、功率电子器件与介质损耗角等。
- (4) 信号与电源质量的测试，如波形、频率、相位、噪声干扰等。
- (5) 有关电气系统与设备常用非电参数的测试，如转速、转矩、压力、温度、噪声、振动等。

通常，电气测试以低频、直流、大功率电磁量的测试为主而与电子测试相区别，但其区分并不严格，而且有时也互有交叉与重叠。

电气测试有以下几个特点：

(1) 电气测试所包括的范围很广，因而电气测试所采取的测试方法与手段是各式各样的，涉及的学科门类较多，需要综合运用各有关学科知识。这种情况突出表现出，随着科学技术向纵深发展，各学科之间渗透性越来越强的倾向。

(2) 电气测试具有较高的准确度、灵敏度，便于实现连续测试，便于记录和进行数据处理。

(3) 电气测试便于实现离开被测对象一定距离之外的远距离测试。电气测试便于将非电量经过相应的变换器变换为电磁量进行测试。现在，长度、热学、力学、光学、电离辐射等各类测量领域已越来越多地依靠电气测试手段。

(4) 电气测试便于实现测试过程的自动化与测试设备的“智能化”。电气测试设备便于组成遥控遥测设备在恶劣环境条件下工作；电气测试设备便于与计算机接口，组成计算机测试系统。特别是80年代以来，微型计算机有了较大的发展，不仅成本降低而且功能提高，使用微型计算机的电气测试系统已开始逐步推广。这种电气测试系统在测试中可以实现程控、遥控、自动调整、自动校准、自动诊断，对测试结果可以自动记录，自动完成测试数据的运算、分析和处理，适合用于国民经济的各个领域。

四、课程学习要求

电气测试技术的范围很宽，而且其内容随着科学技术的发展在不断更新与发展，所以本课程不对电气测试方法——加以讨论，而着重使读者掌握电气测试中最基本的理论、知识与方法，为设计、组织和进行电气系统与元件实验、误差分析、数据处理、解决工程实际问题打下必要的基础。

课程重点是基本测量原理、基本测量方法、误差分析和数据处理及微机测试系统的构成与应用。

本课程是一门理论性和实践性都很强的课程，对理论和实践都应充分重视。

第一篇 测量误差与数据处理

第一章 测量的一般知识

§ 1-1 有关测量的一些基本概念

一、量和量值

量是现象，物体和物质的可以定性区别和定量确定的一种属性^[1]。

由一个数和合适的计量单位表示的量称为量值。例如，导线长 5.3 m，电机重 20 kg 等都是由数值 (5.3, 20) 和计量单位 (m, kg) 两部分组成的量值。

二、测量过程

测量过程一般包括三个阶段：

(1) 准备阶段。明确被测量的性质及测量所要达到的目的，然后选定适当的测量方法及选择相应的测量仪器。

(2) 测量阶段。建立测量仪器所必需的测量条件，慎重进行操作，认真记录测量数据。

(3) 数据处理阶段。根据记录的数据，考虑测量条件的实际情况，进行数据处理，以求得测量结果和测量误差。

三、测量手段

(1) 量具。体现计量单位的器具。量具中的一小部分可直接参与比较，如尺子、量杯等。多数量具要用专门设备才能发挥比较的功能，如利用标准电阻测量电阻时，需要借助于电桥。

(2) 仪器。泛指一切参与测量工作的设备。包括各种直读仪器、非直读仪器、量具、测试信号源、电源设备以及各种辅助设备，如电压表、频率表、示波器等。

(3) 测量装置。由几台测量仪器及有关设备所组成的整体，用以完成某种测量任务。

(4) 测量系统。由若干不同用途的测量仪器及有关辅助设备所组成，用以多种参量的综合测试。

四、测量结果的表示

测量结果可以表示为数字、曲线或图形，但不论表现形式如何均应包含数值、单位及误差。即应在表示出量值的同时注明测量误差数值或范围。

§ 1-2 测量方法及其分类

测量的具体方法是由被测量的种类、数值的大小、所要求的测量准确度、测量速度的快慢、进行测量所需的条件以及其它一系列因素决定的。

每个物理量都可以用技术特性和操作方法特性具有不同特点的多种方法进行测量。随着科学技术的发展，新的测量方法还会不断出现。

为了探讨测量方法的特征，正确地选择测量方法，需要对测量方法分类。

测量方法的分类形式很多。例如，根据被测量的特点（在测量期间其值可以认为是恒定的量还是随时间变化的量）而分为静态测量和动态测量；根据测量条件分为等精度测量和非等精度测量；按测量器具的敏感元件是否与被测物体接触而分为接触测量和非接触测量等。但对于研究测试技术来说，更有意义的是按被测量值的获得方法所作的分类，即直接测量法、间接测量法及在此两类方法的基础上形成的组合测量法。

一、直接测量法

直接测量法是不对与被测量有函数关系的其它量进行测量而能获得被测量值的一种测量方法。可以用预先按已知标准量定度好的直读式测量仪器或比较式仪器对被测量进行测量从而得到被测量值。例如，用电压表测电压，用电桥测电阻等。有时，为了进行相应的修正，需要作补充测量来确定影响量的值，这仍然是直接测量。

直接测量法又可分为直接比较测量法、替代测量法、微差测量法、零位测量法和符合测量法等。

(1) 直接比较测量法。将被测量直接与已知其值的同类量相比较的测量方法，例如，用一刻度尺测量长度等。

(2) 替代测量法。将选定的且已知其值的量替代被测量的量，使得在指示装置上有相同的效应，从而确定被测量值。

(3) 微差测量法。将被测量与同它的量值只有微小差别的同类已知量相比较并测出这两个量值间的差值的测量方法。

由于这种方法的特征是测量被测量与已知量之间的差值，所以甚至采用准确度比较低的仪器来测差值时，也能得到高准确度的结果。但是只有在已知量准确度高，且其值接近被测量值的条件下，才可能实现这种方法。

(4) 零位测量法。通过调整一个或几个与被测量有已知平衡关系的量，用平衡的方法确定出被测量的值。

零位测量法的一般形式是将被测量与其值为已知的量相比较，而使所选择的已知量和被测量之间的差值为零。差值的指示用零位指示器（指零表）指示。

零位测量法的最大优点是可以用一个固定已知量，通过调整另一已知可调量而确定不同大小的被测量，如用电桥测电阻就是零位测量法的典型例子。

(5) 符合测量法。是由对某些标记或信号的观察来测定被测量值与作比较用的同类已知量值间微小差值的一种微差测量法，例如，用游标卡尺测量物体的长度等。

实现符合测量法的原理有：游标原理、拍频原理、干涉原理和闪频原理等。

二、间接测量法

间接测量法是通过对被测量有函数关系的其它量的测量而得到被测量值的测量方法。例如，直接测出电阻的阻值及其两端的电压来确定流过该电阻的电流值。

一般地说，间接测量需要测量的量较多，测量和计算工作量较大，引起的误差因素也较多。但如果对测量误差进行分析并选择和确定具体的优化测量方法和在比较理想的条件下进行测量，测量结果的准确程度不一定低，有的甚至有较高的准确度。

三、组合测量法

组合测量法是当各未知量能以某些可测量的组合形式表示（或改变测量条件来获得这种不同的组合）时，根据直接测量和间接测量所得的数据，通过解一组联立方程而求出各未知量的数值。例如，当测量标准电阻的温度系数 α 和 β 以及 20°C 时的电阻值 R_{20} 时，可先测出不同温度下该标准电阻的阻值 R_{t_1} ， R_{t_2} ， R_{t_3} ，再通过求解下述联立方程组而求 α ， β ， R_{20} 。

$$R_{t_1} = R_{20} + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2$$

$$R_{t_2} = R_{20} + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2$$

$$R_{t_3} = R_{20} + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2$$

组合测量法实质上仍然是一种间接测量法。组合测量法有两个明显的优点：在准确度要求相同的情况下，组合测量需要进行的测量次数较少；系统误差出现的规律变为随机性质，因而可使测量结果的准确度有所提高。

§ 1-3 单位与单位制

一、单位

用来标志量或数的大小的指标统称为单位。标志可测量大小的单位称为计量单位或测量单位。

计量单位或测量单位是一个有明确定义和名称，并命其数值为1的固定量。例如，1m（1米），1kg（1千克），1s（1秒）等都是计量单位。米、千克和秒是它们的名称，并且米、千克和秒都有它们各自的明确定义。

二、单位制

单位制是为给定量制建立的一组单位。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。

基本单位是可以任意选定的。由于基本单位选择的不同，所以组成的单位制也就不同。例如，有市制、英制、米制和国际单位制等。近数十年来世界各国为了贸易和科学技术交流的需要，已逐渐淘汰了英制。

米制是1795年正式创立的单位制，1875年被20个国家确认为国际上通用的单位制。

但是在米制中还存在不少问题，因而在米制中又派生出许多不同的单位制。例如，以厘米、克、秒作为基本单位的CGS（厘米、克、秒）制；以米、千克、秒、安培为基本单位的MKSA（米、千克、秒、安培）制；以米、吨、秒为基本单位的MTS（米、吨、秒）制和以米、千克力、秒为基本单位的MKGFS（米、千克力、秒）制等等。

多种单位制的并存不仅对国际贸易有阻碍作用，而且不利于各国之间的科学文化交流，因此统一单位制已成为各国的共同要求。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11届国际计量大会（CGPM）正式通过了SI。随后一些国际组织，如国际法制计量组织（OIML）、国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）等也采用了国际单位制。

三、国际单位制(SI)

国际单位制由7个基本单位（见表1-1）、两个辅助单位（见表1-2）和19个具有专门名称的导出单位（见表1-3）所组成。所有单位都各有一个主单位，利用十进（或千进）倍数、分数的16个词头（见表1-4）组成十进（或千进）倍数单位、分数单位。

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
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

表 1-2 国际单位制的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表 1-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其它表示式例
频率	赫[兹]	Hz	s^{-1}
力；重力	牛[顿]	N	$kg \cdot m/s^2$
压力，压强；应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2

续表 1-3

量的名称	单位名称	单位符号	其它表示式例
能量; 功; 热	焦[耳]	J	N·m
功率; 辐射通量	瓦[特]	W	J/s
电荷量	库[仑]	C	A·s
电位; 电压; 电动势	伏[特]	V	W/A
电容	法[拉]	F	C/V
电阻	欧[姆]	Ω	V/A
电导	西[门子]	S	A/V
磁通量	韦[伯]	Wb	V·s
磁通量密度, 磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m ²
电感	亨[利]	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	℃	
光通量	流[明]	lm	cd·sr
光照度	勒[克斯]	lx	lm/m ²
放射性活度	贝可[勒尔]	Bq	s ⁻¹
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

表 1-4 国际单位制的词头

所表示的因数	词头名词	词头符号
10 ¹⁸	艾[可萨]	E
10 ¹⁵	拍[它]	P
10 ¹²	太[拉]	T
10 ⁹	吉[咖]	G
10 ⁶	兆	M
10 ³	千	k
10 ²	百	h
10 ¹	十	da
10 ⁻¹	分	d
10 ⁻²	厘	c
10 ⁻³	毫	m
10 ⁻⁶	微	μ
10 ⁻⁹	纳[诺]	n
10 ⁻¹²	皮[可]	p
10 ⁻¹⁵	飞[母托]	f
10 ⁻¹⁸	阿[托]	a

国际单位制具有严格的统一性、突出的简明性与广泛的实用性，因而可以使科研、生产、文教、贸易和人民生活各个方面应用的单位统一；消除多种单位制并存的弊病；省掉许多不同单位制单位之间的换算系数；简化运算过程，减少产生差错的环节和减小换算的误差。

国际单位制中的基本单位是通过计量标准来定义、实现、保持或复现的。实现基本单位的初期基准是利用宏观自然现象和有关实物来建立的，它们被称为实物基准，例如国际米原器、国际千克原器、平太阳时等。实物基准比较简便直观，所以在一段历史时期内得到广泛应用（国际千克原器至今仍在使用）。但是，由于实物基准受到材料纯度、加工准确度，使用磨损、环境变化等限制，它们难以达到并保持很高的准确度。随着科学技术的进步，特别是量子力学的发展，实现基本单位的基准相继利用宏观量子效应来建立，它们被称为自然基准。自然基准的不确定度较小，并且可以在不同国家中以同样的准确度来建立。

目前国际计量大会（CGPM）所确定国际单位制中的7个基本单位定义如下：

1. 长度单位——米（m）

米是光在真空中于 $1/299\,792\,458$ s 时间间隔内所经过的距离（1983年第17届国际计量大会通过）。

2. 质量单位——千克（kg）

千克是质量单位，等于国际千克原器的质量（1901年第3届国际计量大会规定）。

这是迄今为止在国际单位制基本单位中唯一保留的实物基准。

3. 时间单位——秒（s）

秒是铯-133（ Cs^{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（1967年第13届国际计量大会决定）。

4. 电流强度单位——安[培]（A）

安[培]是一恒定电流，若保持在处于真空中相距 1m 的两无限长而圆截面可以忽略的平行直导线内，则此两导线之间产生的力在每米长度上等于 2×10^{-7} N（1948年第9届国际计量大会确定）。

5. 热力学温度单位——开[尔文]（K）

开[尔文]是水的三相点热力学温度的 $1/273.16$ （1967年第13届国际计量大会通过）。

6. 物质的量的单位——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（1971年第14届国际计量大会决定增加的基本单位）。

在使用摩[尔]时，应指明基本单元是原子、分子、离子、电子及其它粒子，或是这些粒子的特定组合。

7. 发光强度单位——坎[德拉]（cd）

坎[德拉]是发出频率为 540×10^{12} Hz 单色辐射的光源在给定方向上的发光强度，而且在此方向上的辐射强度为 $(1/683)$ W / sr（1979年第16届国际计量大会规定）。

四、我国的法定计量单位

法定计量单位是由国家以法令形式规定允许使用的计量单位。

国际单位制是在米制基础上发展起来的，被称为米制的现代化形式。1959年6月25日我国国务院发布《关于统一计量制度的命令》，明确确定米制为我国的基本计量制度，在全国范围内推广米制，改革市制，限制英制和废除旧杂制。1977年5月27日国务院颁发《中华人民共和国计量管理条例（试行）》明确规定要逐步采用国际单位制(SI)。1984年2月27日国务院发布《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，决定在采用先进的SI基础上进一步统一我国的计量单位。1986年7月1日起施行的中华人民共和国计量法规定我国的法定计量单位以国际单位制的单位为基础，并根据我国的实际情况，适当增加了一些其它单位。我国法定计量单位包括：

- (1) 国际单位制的基本单位（见表1-1）；
- (2) 国际单位制的辅助单位（见表1-2）；
- (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位（见表1-3）；
- (4) 国家选定的非国际单位制单位（见表1-5）；

表1-5 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分	min	1min = 60 s
	[小时	h	1h = 60min = 3 600 s
	天(日)	d	1d = 24h = 86 400 s
平 面 角	[角]秒	($''$)	$1'' = (\pi / 648 000) \text{ rad}$ (π 为圆周率)
	[角]分	($'$)	$1' = 60'' = (\pi / 10 800) \text{ rad}$
	度	($^{\circ}$)	$1^{\circ} = 60' = (\pi / 180) \text{ rad}$
旋转速度	转每分	r / min	$1 \text{ r / min} = (1 / 60) \text{ s}^{-1}$
长 度	海 里	n mile	1n mile = 1 852 m (只用于航程)
速 度	节	kn	1kn = 1n mile / h = (1 852 / 3 600) m / s (只用于航行)
质 量	吨	t	1t = 10^3 kg
	原子质量单位	u	$1u \approx 1.6 605 655 \times 10^{-27} \text{ kg}$
体 积	升	L, (l)	1L = $1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
能	电子伏	eV	$1 \text{ eV} \approx 1.6 021 892 \times 10^{-19} \text{ J}$
级 差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1tex = 1 g / km

注：① 周、月、年（年的符号为a）为一般常用时间单位。② []内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字。③ ()内的字为前者的同义语。④ 角度单位度分秒的符号不处于数字后时，用括弧。⑤ 升的符号中，小写字母l为备用符号。⑥ r为“转”的符号。⑦ 人民生活和贸易中，质量习惯称为重量。⑧ 公里为千米的俗称，符号为km。⑨ 10^4 称为万， 10^8 称为亿， 10^{12} 称为万亿，这类数词的使用不受词头名称的影响，但不应与词头混淆。

- (5) 由以上单位构成的组合形式的单位；
- (6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位（词头见表1-4）。

§ 1-4 电气测量的单位制

一、主要单位

电气测量的主要单位及其定义如下:

(1) 安[培] (A)。国家单位制的基本单位之一。

(2) 伏[特](V)。流过 1 A 恒定电流的导线内, 如两点之间所消耗的功率为 1 W 时, 这两点之间的电位差为 1 V。

$$1 \text{ V} = 1 \text{ W} / \text{A}$$

(3) 欧[姆] (Ω)。导体两点之间的电阻, 当在这两点间加上 1 V 恒定电位差时, 在导体内产生 1 A 电流, 而导体内不存在任何电动势。

$$1 \Omega = 1 \text{ V} / \text{A}$$

(4) 库[仑] (C)。1 A 电流在 1 s 时间间隔内所运送的电量。

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$$

(5) 法[拉] (F)。电容器的电容量, 当电容器充 1 C 电量时, 它的两极板之间出现 1 V 的电位差。

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C} / \text{V}$$

(6) 亨[利] (H)。一闭合回路的电感, 当流过该电路的电流以 1 A/s 的速率均匀变化时, 在回路中产生 1 V 的电动势。

$$1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} / \text{A}$$

(7) 韦[伯] (Wb)。只有一匝的环形线圈中的磁通量, 它在 1 s 时间间隔内均匀地降到零时, 环路内所感应产生的电动势为 1 V。

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$$

(8) 特[斯拉](T)。在 1m^2 面积内垂直均匀通过 1 Wb 磁通量的磁通密度等于 1 特[斯拉]。

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} / \text{m}^2$$

(9) 赫[兹] (Hz)。单位时间即 1s 内周期性过程重复的次数。

二、有关电、磁单位

有关电、磁单位见表 1-6。

表 1-6 电、磁量有关单位

量的名称	单位名称	单位符号
电 流	安[培]	A
电荷[量]	库[仑]	C
电荷[体]密度	库[仑]每立方米	C / m^3