

现代测试技术 与系统设计

申忠如 郭福田 丁晖



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

现代测试技术与系统设计

申忠如 郭福田 丁晖

西安交通大学出版社

内容简介

本书按照电气工程及其自动化专业“现代测试技术与系统设计”平台课的教学大纲而编写。首先介绍了测量与测量系统所必需的基础知识,并对电气参数、电路参数和磁参数的测量进行了重点阐述,突出了数字化、微机化的测量方法。书中还对代表未来测量仪器发展方向的虚拟仪器及开发语言做了简要介绍。然后介绍了在电气工程中常用的非电量电测部分,如温度、压力、流量和转速等测量中所用的传感器、调理电路、A/D转换器及其测试系统的组成等内容。最后从实用的角度出发介绍了在电力系统中常见干扰的来源与相应的抑制措施。

本书配套的实验课中,贯彻了自主学习、自主训练、自主设计和创新设计的渐进式培养方式,其中将实验课中具有共性内容的部分作为基础训练模块放在附录中,其余的实验内容及书中各章的习题均可在 <http://xcweb.xjtu.edu.cn> 网站上下载。

本书作为电气工程及其自动化类专业的“现代测试技术与系统设计”课程教材,也可作为其他相关专业的教学用书或参考书,还可供从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代测试技术与系统设计/申忠如,郭福田,丁晖编著.
西安:西安交通大学出版社,2006.2
ISBN 7-5605-2132-0

I. 电... II. ①申... ②郭... ③丁... III. 电气测量-高等学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 160016 号

书 名	现代测试技术与系统设计
编 著	申忠如 郭福田 丁晖
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话	(029)82668315 82669096(总编办) (029)82668357 82667874(发行部)
印 刷	陕西宝石兰印务有限责任公司
字 数	390 千字
开 本	727 mm×960 mm 1/16
印 张	21.25
版 次	2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0 001~3 000
书 号	ISBN 7-5605-2132-0/TM·58
定 价	28.00 元

版权所有 侵权必究

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前 言

本书是按照电气工程及其自动化专业“现代测试技术与系统设计”平台课的教学大纲编写的。书中仅以一章的篇幅介绍了某些地方还在使用的模拟式电工仪表,而重点转移到数字化仪表,尤其是对以计算机软硬件为核心的虚拟仪器作了较详尽的介绍,同时增加了对电气工程中常用的非电量电测部分,如温度、压力、流量和转速等测量中所用的传感器、调理电路、A/D 转换器及其测试系统的组成等内容。

全书共分 10 章。第 1 章扼要介绍了测量的基本概念、测量方法、测量单位、有效数字及电学量具。第 2 章主要讲述了测量误差和数据处理的基础知识,注重于常用公式的物理含义及其具体运用,并通过实例简要地介绍了系统误差、随机误差和粗大误差的消除以及测试结果的表示方法。第 3 章从测试系统的静态特性和动态特性入手,讲述了仪器的正确选用、合理组建测试系统的方法以及对系统性能的评价。第 4 章介绍了电气工程中常用传感器的基本原理、调理电路、A/D 转换器的选择和线性化处理等内容。第 5 章介绍了目前最热门的所谓新一代智能型仪器——虚拟仪器的概念、设计方法和开发语言(LabVIEW 和 LabWindows - CVI)。第 6 章讲述了应用离散傅里叶变换 DFT 对有关信号分析处理的知识,简要地介绍了频谱混叠、频谱泄漏和栅栏效应的概念和 DFT 参数的选择方法。第 7 章简要介绍了模拟式电工仪表的基本原理和使用方法,以使读者对目前还在使用的该类仪表有所了解,因此该章也可作为自学内容。第 8 章对电路参数 R, L, C 和电气基本参数 U, I, φ 测试原理和常用的调理电路作了简要介绍。第 9 章主要讲述了磁参数测量的有关概念和测量方法,增加了基于虚拟仪器的磁特性测试系统的组建和设计方法。第 10 章以电力系统为背景,讲述了干扰的来源、传播以及常用的抑制干扰的措施和方法。

本书配套的实验课中,贯彻了自主学习、自主训练、自主设计和创新设计的渐进式培养方式,其中将实验课中具有共性内容的部分作为基础训练模块放在附录中,其余的实验内容及书中各章的习题均可在 <http://xcweb.xjtu.edu.cn> 网站上下载。

本书第 1,2,3,9 章由西安交通大学郭福田编写,第 4,5,6 章由西安交通大学丁晖编写,第 7,8,10 章由西安交通大学申忠如编写,基础实验指导书由西安交通大学白洁编写,全书由申忠如教授统稿。

本书是编者总结多年的教学实践,并在吸收了大量国内外同类教材优点的基

础上编写而成的,具有基础突出,力求实用的特点。

本书在编写中参阅了不少参考书和资料,学习和吸取了不少经验,得到了西安交通大学电气工程学院有关领导的具体帮助与指导;在出版过程中得到了西安交通大学出版社的大力支持,并提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,错误与不足在所难免,欢迎广大读者不吝指教。

编 者

2005年10月于西安交大

目 录

第 1 章 测量与测量系统的基础知识

1.1 测量	(1)
1.1.1 测量与测量方法	(1)
1.1.2 测量过程	(1)
1.1.3 测量方法	(2)
1.2 测量单位	(3)
1.2.1 单位及单位制	(3)
1.3 计量器具	(8)
1.3.1 计量器具的基本概念	(8)
1.3.2 计量器具的主要特征	(9)
1.3.3 电学量具	(10)

第 2 章 测量误差及其分析

2.1 测量误差基本概念	(18)
2.1.1 测量误差的几个名词术语	(18)
2.1.2 测量误差的表示	(19)
2.1.3 测量误差的分类	(22)
2.1.4 有效数字	(23)
2.2 系统误差的消除	(25)
2.2.1 从产生系统误差的来源上消除	(25)
2.2.2 利用修正的方法来消除	(25)
2.2.3 利用特殊的测量方法消除	(26)
2.3 随机误差的处理	(30)
2.3.1 随机误差的统计特性和概率分布	(30)
2.3.2 随机变量的特征参数	(33)
2.3.3 有限次测量数据的数学期望与方差的估计	(34)
2.3.4 测量结果的置信度	(37)
2.4 粗大误差的剔除	(42)

2.4.1	拉依达准则	(42)
2.4.2	格罗布斯准则	(43)
2.5	测量结果误差的估计	(44)
2.5.1	直接测量结果的误差估计	(44)
2.5.2	间接测量结果的误差估计	(44)
2.5.3	已定系统误差的合成	(48)
2.6	测量结果的表示	(49)
2.6.1	测量结果的表示	(49)
2.6.2	数据处理举例	(50)
2.7	最小二乘法原理及其应用	(52)
2.7.1	最小二乘法原理	(52)
2.7.2	最小二乘法在测量中的应用	(55)
2.8	微小误差准则与比对标准的选取	(62)
2.8.1	微小误差准则	(62)
2.8.2	比对标准的选取	(63)

第3章 测量系统的基本特性

3.1	概述	(65)
3.2	测量系统的静态特性	(66)
3.2.1	静态特性的获得	(66)
3.2.2	静态特性的基本参数	(66)
3.2.3	静态特性的质量指标	(68)
3.3	测量系统的动态特性	(72)
3.3.1	测量系统的数学模型	(73)
3.3.2	常见测量系统的数学模型	(74)
3.3.3	测量系统的动态特性参数	(76)
3.3.4	系统特性参数、动态误差与信号频率的关系	(83)
3.4	测试系统集成设计原则与步骤	(86)
3.4.1	单元模块的选择与优化	(87)
3.4.2	参数的确定与预估	(87)

第4章 现代测控系统集成基础

4.1	现代测控系统的基本结构	(94)
4.2	传感器概述	(95)

4.2.1	传感器的定义	(95)
4.2.2	传感器的组成	(96)
4.2.3	传感器的分类	(96)
4.3	变送器	(97)
4.4	常用传感器	(98)
4.4.1	温度传感器	(98)
4.4.1.1	热电阻型温度传感器	(98)
4.4.1.2	热电偶型温度传感器	(102)
4.4.2	压力传感器	(107)
4.4.2.1	应变式电阻压力传感器	(107)
4.4.2.2	压阻式电阻压力传感器	(108)
4.4.2.3	电阻式压力传感器的应用	(109)
4.4.2.4	压力传感器常用调理电路	(111)
4.5	转速测量用传感器	(113)
4.5.1	反射式光电开关传感器	(113)
4.5.2	脉冲盘式编码器(增量编码器)	(115)
4.6	霍尔传感器	(115)
4.6.1	霍尔传感器的基本原理	(115)
4.6.2	霍尔电流传感器	(117)
4.7	前置放大器	(119)
4.7.1	测量放大器	(120)
4.7.2	程控放大器	(122)
4.7.3	隔离运算放大器	(123)
4.8	量程变换	(125)
4.8.1	量程变换电路——脉冲分压器	(125)
4.8.2	量程的自动转换	(125)
4.8.3	自动定标电路	(126)
4.9	数据采集系统	(127)
4.9.1	连续量的离散化	(127)
4.9.2	连续量的量子化	(127)
4.9.3	连续量的离散化和量子化	(128)
4.9.4	A/D 转换器	(128)
4.9.5	D/A 转换器及其主要参数	(130)
4.9.6	采样保持电路	(131)

4.9.7 多通道数据采集系统的几种结构形式	(132)
------------------------------	-------

第5章 虚拟仪器及开发语言

5.1 虚拟仪器	(134)
5.1.1 虚拟仪器的基本概念	(134)
5.1.2 虚拟仪器的特点	(135)
5.1.3 虚拟仪器的发展现状	(135)
5.1.4 虚拟仪器的构成	(136)
5.2 虚拟仪器开发语言——LabVIEW 简介	(136)
5.2.1 LabVIEW 的特点	(136)
5.2.2 使用 LabVIEW 开发虚拟仪器的基本方法	(138)
5.2.3 前面板及其设计窗口	(138)
5.2.4 流程图及其编辑窗口	(138)
5.2.5 各种模板(tools palette)的功能	(139)
5.3 虚拟仪器开发语言——LabWindows/CVI 简介	(140)
5.3.1 LabWindows/CVI 的特点	(140)
5.3.2 使用 LabWindows/CVI 开发虚拟仪器的基本步骤	(141)
5.4 基于 LabView 的虚拟双踪示波器的设计实例	(143)

第6章 信号分析与处理

6.1 信号频谱分析的概念	(148)
6.2 傅里叶级数与周期信号的频谱	(149)
6.2.1 傅里叶级数	(149)
6.2.2 周期信号的频谱	(150)
6.3 傅里叶变换与非周期信号频谱	(152)
6.4 离散傅里叶变换(DFT)	(152)
6.5 频谱混叠与采样定理	(153)
6.5.1 频谱混叠	(153)
6.5.2 采样定理	(155)
6.6 频谱泄漏及其抑制措施	(155)
6.6.1 时域有限化与频谱泄漏	(155)
6.6.2 泄漏的抑制措施	(157)
6.7 栅栏效应	(159)
6.8 DFT 参数的选择	(159)

第7章 电参量的传统测量

7.1 直读式电气测量仪表	(162)
7.1.1 直读式电气测量指示仪表的主要技术特性	(162)
7.1.2 磁电系仪表	(163)
7.1.3 电磁系电流表和电压表	(167)
7.1.4 电动系仪表	(167)
7.1.5 感应系仪表	(169)
7.2 电位差计	(170)
7.2.1 直流电位差计	(170)
7.2.2 交流电位差计	(172)
7.3 测量用互感器	(173)
7.4 电压、电流的测量	(175)
7.5 功率、电能测量	(177)

第8章 电参量的数字化测量

8.1 电阻的测量	(181)
8.1.1 比例运算器法	(181)
8.1.2 积分运算器法	(182)
8.2 电容的测量	(184)
8.2.1 恒流法	(184)
8.2.2 比较法	(185)
8.3 电感的测量	(186)
8.3.1 时间常数法	(186)
8.3.2 同步分离法	(188)
8.4 频率、周期和时间间隔的测量	(189)
8.4.1 频率的计数法测量	(189)
8.4.2 周期的计数法测量	(191)
8.4.3 中介频率	(193)
8.4.4 时间间隔的计数测量	(194)
8.5 相位的测量	(194)
8.5.1 相位—频率转换器原理	(194)
8.5.2 相位测量的误差	(195)
8.6 电压、功率和电能等的测量	(197)

8.6.1	交流电压的测量	(197)
8.6.2	功率和电能的数字化测量	(202)
8.7	基于 LabWindows/CVI 的多功能电量测试仪的设计举例	(203)
8.7.1	多功能电量测试仪的硬件平台	(203)
8.7.2	软件设计	(207)
8.7.3	谐波分析中的高准确度 FFT 算法	(208)
8.7.4	实验测试结果与误差分析	(210)
8.7.5	使用步骤	(213)

第 9 章 磁测量

9.1	概述	(217)
9.1.1	磁测量的任务	(217)
9.1.2	磁量具	(217)
9.2	基本磁规律和磁单位	(218)
9.2.1	基本磁学量	(218)
9.2.2	磁场的基本定律	(220)
9.2.3	磁路定律	(221)
9.2.4	磁单位	(223)
9.3	物质的磁性及分类	(224)
9.3.1	物质按磁性分类	(224)
9.3.2	铁磁物质的磁化	(225)
9.3.3	铁磁物质的分类	(228)
9.4	磁场的基本测量方法	(229)
9.4.1	冲击法	(229)
9.4.2	磁通计法	(230)
9.4.3	霍尔效应法	(230)
9.5	静态磁特性的测量	(231)
9.5.1	磁性材料试样的准备	(232)
9.5.2	样品的退磁	(232)
9.5.3	用冲击法测量基本磁化曲线和磁滞回线	(233)
9.5.4	基于虚拟仪器的静态特性自动测量	(236)
9.6	动态磁特性的测量	(239)
9.6.1	用指示仪表测量动态磁化曲线	(239)
9.6.2	用瓦特表测量铁心损耗	(240)

9.6.3 基于虚拟仪器的动态磁特性自动测量	(242)
------------------------------	-------

第 10 章 干扰与抑制

10.1 电磁干扰	(246)
10.1.1 干扰与噪声的来源	(246)
10.1.2 干扰与噪声的耦合方式	(247)
10.2 干扰的表示方法	(248)
10.2.1 串模干扰	(248)
10.2.2 共模干扰	(249)
10.3 干扰的抑制	(251)
10.3.1 接地	(251)
10.3.2 屏蔽	(254)
10.3.3 隔离	(255)
10.3.4 其它抗干扰措施	(255)
10.3.5 灭弧	(256)
10.4 电源干扰的抑制	(257)

附录 实验指导书—基础训练模块

实验 1 熟悉 LabWindows/CVI 集成软件开发环境	(261)
实验 2 虚拟面板设计与波形显示	(283)
实验 3 虚拟频谱分析演示仪	(304)
实验 4 PCI9111 数采卡的驱动	(312)
实验 5 频率测量与虚拟频率计	(322)

参考文献	(326)
------------	-------

第 1 章

测量与测量系统的基础知识

1.1 测量

1.1.1 测量与测量方法

测量是人们认识客观事物,并用数量概念描述客观事物,进而达到逐步地掌握事物的本质和揭示自然界规律的一种手段。在自然界中,对任何被研究的客观事物,若要定量地进行评价,均必须通过测量来实现。著名俄国科学家门捷列夫说过:“没有测量,就没有科学”,英国科学家库克也认为:“测量是技术生命的神经系统”,这足以说明了测量对发展现代科学技术所起的作用是非常重要的。

所谓测量,就是被测量和同类标准量进行比较的一个实验过程。也就是说任何一个测量过程必须有同类标准量参与,否则就不为之测量。这里应注意,同类标准量的参与方式可以是直接的,也可以是间接的。例如,天平称重量,电位差计测电压,同类标准量(法码、标准电池)是直接参与;电流表测电流,压力表测压力,这里标准量是间接参与的。因为,电流表、压力表在出厂时,已经和标准量(标准电流、标准压力)进行比较,以获得定标与校准。

测量结果由两部分组成,即测量单位和与此测量单位相适应的数字值,一般表达式为:

$$X = \{X\} \cdot x_0 \quad (1-1)$$

式中 X 为测量结果, $\{X\}$ 为数字值, x_0 为测量单位。式(1-1)通常称为测量的基本方程式。式中测量单位 x_0 尤为重要,它不仅反映出被测量的物理属性,同时也因测量单位大小选取不同而影响测量结果的数字值的大小变化。

1.1.2 测量过程

测量包含有三个重要因素,即测量对象、测量方法、测量设备。一个完整的测量过程一般须经过三个阶段:

(1) 准备阶段 准备阶段的任务是在对测量对象的性质、特点、测量条件(环境)认真分析、全面了解的前提下,根据对测量结果的准确度要求选择恰当的测量方法(方式)和测量设备,进而拟定出测量过程及测量步骤。不难想象,测量准备阶

段的工作认真与否将会直接影响整个测量过程的成败。

(2) 测量阶段 测量阶段的任务是在了解准备阶段所选定的测量设备的特性、使用方法的前提下,按照已拟定出的测量过程及测量步骤进行测量,认真而客观地记录数据。

(3) 数据处理阶段 数据处理阶段的任务是按照选定的测量方法、方式及理论,计算出被测量的测量结果的估计值;根据误差传递理论,对测量结果估计值的不确定度作出合理的评定。

一个物理量的测量,可通过不同的测量方法获得,测量方法的选择正确与否,直接关系到测量结果的可信赖程度,也关系到测量方案的经济性和可行性。不正确的测量方法,即使有先进的精密仪器,也不会得到正确的测量结果。

1.1.3 测量方法

测量方法通常有以下三种分类方法。

1. 按测量结果的获得方式分类

(1) 直接测量 它是从仪表(仪器)的读数直接获取测量结果的方法,例如电压表测量电压,温度表测量温度。它的特点是测量过程简单迅速。

(2) 间接测量 它是由仪表(仪器)的读数,按照一定的函数关系(公式)经计算而获取测量结果的方法,例如伏安法测量电阻,瓦秒法测量电能。它的特点是测量过程复杂费时,一般应用在以下情况:直接测量不方便;间接测量比直接测量的结果更为准确;没有直接测量的仪表(仪器)。

(3) 组合测量 它是在测量两个或两个以上相关的未知数时,通过改变测量条件而获得一组含有测量读数和未知数的方程组,经求解而获取测量结果的方法,例如电阻的温度系数(一次、二次)测量。

2. 按测量读数的获得方式分类

(1) 直读测量法 从仪器(仪表)的指示(显示)窗口直接获取读数,特点是过程简单,一般来说准确度较低。

(2) 比较测量法 把被测量与同类的标准量进行比较,根据比较的结果推算(计算)出测量读数。典型的比较测量法有差值(微差)法、零值法、替代法。比较测量法的特点是标准量直接参与,测量准确度高,但测量设备较贵,过程复杂。电桥、电位差计就是利用比较测量法的原理设计制作的典型比较式测量设备。在智能化仪表(仪器)飞速发展的今天,以比较测量法的原理为基础派生出来的三步测量法、自动校零法、迭代法得到了广泛应用。

3. 按测量性质分类

(1) 时域测量 时域测量也叫做瞬态测量,它是以时间为主要研究对象,主要测量被测量随时间变化的规律。例如用示波器测量脉冲信号的上升沿、下降沿、过冲、平顶跌落、脉冲宽度等。

(2) 频域测量 频域测量也叫做稳态测量,它是以频率为主要研究对象,主要测量被测量随频率的变化规律。例如用频谱分析仪测量信号的频谱,函数分析仪测量单元电路的幅频特性、相频特性。

(3) 数据域测量 数据域测量也叫做逻辑量测量,它是以数字电路的逻辑状态为主要研究对象。例如用逻辑分析仪测量数字电路的逻辑状态、时序等。

1.2 测量单位

从测量的定义不难看出,同类标准量在测量中的地位是十分重要的,它的准确与可靠程度直接关系到测量结果的准确与可靠。只有根据准确、可靠的测量结果来分析事物,才能科学地得出符合客观规律的结论。

要使测量结果准确、可靠和一致,需具备以下条件。

① 统一的计量单位,它应该有足够的科学性和公认的定义,并有一定的换算关系,目前实行的是国际单位制(SI)。

② 按照规定的定义,能够复现出需要的物理量单位或标准。

③ 要有正确的测量方法。

④ 具有把基本单位量值和同类量相比较的装置,并能把基本单位量值逐级按传递系统传递到测量现场。

研究以上内容的科学属于计量学范畴,已超出本书的范围,在此只对计量学的个别名词和基本概念作简单介绍。

1.2.1 单位及单位制

1. 测量单位

测量单位是以定量表示同类量而约定采用的特定量。这个特定的量值,其数值等于1,其量值大小是约定的,或用法令形式规定的。例如长度单位米,法国政府1790年规定,沿通过巴黎的地球子午线长度的四千万分之一为1米。1983年,第17届国际计量大会又将米的定义改为:米是光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔里所经过的距离。

2. 基本单位与导出单位

世界上的物理量很多,可以选择少数的、相互独立的物理量,使其它物理量都

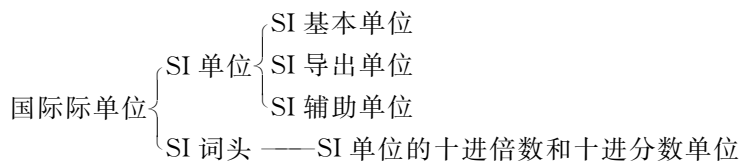
能通过这些量组合而进行定义。这些少数的物理量就叫作“基本量”，而把通过物理法则组合构成的物理量叫作“导出量”。基本量的单位被称为“基本单位”，此类单位是由公认的国际计量机构根据科学技术的发展水平给出独立的定义，如长度单位米(m)、时间单位秒(s)、质量单位千克(kg)等。导出量的单位被称为导出单位，它是由基本单位遵循物理法则组合而成，为了表示方便，对有些导出单位给以专门的名称和符号，如伏特(V)、赫兹(Hz)、帕斯卡(Pa)等。

3. 单位制

基本单位选定以后，就可按一定的关系用它们构成一系列导出单位，这样，基本单位与导出单位就形成一个完整的单位体系，这一单位体系的集合称之为单位制。由于基本单位选取的不同，历史上曾出现过多种单位制，如绝对静电单位制(CGSE)、绝对静磁单位制(CGSM)、高斯单位制(CGS)、绝对实用单位制(MKSA)以及目前绝大多数国家公认并使用的国际单位制(SI)。

(1) 国际单位制 国际单位制是在米制基础上发展起来的科学、实用而又比较完善的单位制。它可以应用于各科学领域和各行业，能够并已经逐步代替了历史上遗留下来的各种单位制和单位。正因为如此，世界上大部分国家及国际组织均已宣布采用或推行国际单位制。现就国际单位制的构成及使用注意事项作简单介绍。

① 国际单位制的构成



② SI 基本单位 SI 基本单位的名称、符号、定义见表 1-1。

表 1-1 SI 基本单位的名称、符号、定义

量的名称	单位名称	单位符号	定义	
长度	米	m	米是光在真空中于 1/299 792 458 秒时间间隔内所经过的距离。	1983 年
时间	秒	s	秒是铯-133 原子基态的二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
质量	千克	kg	千克是质量单位，它等于国家千克原器的质量。	1901 年
电流	安[培]	A	在真空中，截面积可忽略的两根相距 1 米的无限长平行直导线内流过等量恒定电流时，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定义为 1A。	1954 年

续表 1-1

量的名称	单位名称	单位符号	定义	
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。	1967 年
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 千克碳-12 的原子数目相等。	1971 年
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} 赫兹的单色辐射,而且在此方向上辐射强度为 1/683 瓦特每球面度。	1979 年

③ SI 导出单位 具有专门名称的 SI 导出单位的名称、符号、量纲表达式见表 1-2。

表 1-2 具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	用其它 SI 单位表示的表示式	用 SI 基本单位表示的表示式
频率	赫[兹]	Hz		s^{-1}
力	牛[顿]	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能,功,热量	焦[耳]	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率,辐[射]通量	瓦[特]	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷[量]	库[仑]	C		$s \cdot A$
电位(电势), 电位差,电压,电动势	伏[特]	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法[拉]	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻	殴[姆]	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导	西[门子]	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感	亨[利]	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$