

电 知 识
小百科全书

电气测量与 电工仪表

孙左一等 编译

电 知 识 小 百 科 全 书

④

电气测量与电工仪表

孙左一等 编译

水 利 电 力 出 版 社

内 容 提 要

《电知识小百科全书》是一套兼有百科全书、辞书和科普图书特色的丛书,共有18个分册。《电气测量与电工仪表》是其中的第4分册。书中首先阐述了电气测量的基本知识,接着介绍了测量交流电、直流电、微电流、电动势、功率、用电量、电阻、电感、电容、频率和品质因数的方法及所使用的仪器,磁测量,万用表、阴极射线示波器和各种记录仪器,非电量的电测量,最后概要介绍了微处理器在电气测量技术中的应用及电测自动化的发展情况。

电知识小百科全书 4 电气测量与电工仪表

孙左一等 编译

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.125印张 66千字
1990年10月第一版 1990年10月北京第一次印刷

印数0001—4710册

ISBN 7-120-00804-8/TM·331

定价2.10元

序

打开电世界知识宝库大门的钥匙

在现代社会中，电已经应用于生产、生活和社会活动的
所有领域。电既是极其重要的能源，又是极其重要的信息载
体。从日常生活中普遍使用的电灯、电话、电报、电视机、
电冰箱、电炉、空调到各种机械、电气机车、船舶、飞机；
从袖珍计算器、电子钟表、电子玩具到各种计算机网络和系
统；从电针治疗到航天技术……人们都要和电打交道。巨大
的电力网犹如人体的血液循环系统向整个社会传递着运转的
动力；巨大的电气通信和电子通信网络则为整个社会的协调
发展瞬息不停地传递着信息。从某种意义上，可以把当今世
界看成是“电世界”。作为一个现代人，一个“电世界的公
民”，学习和掌握一些电的基本知识，会得到许多帮助和
方便。

水利电力出版社出版的《电知识小百科全书》为具有中
等文化程度的广大读者提供了一把打开电世界知识宝库大门
的钥匙。这套丛书是我国中青年电气科技工作者根据国外同
类图书移植改编而成的。在编译过程中，编译者根据我国的国
情和广大读者的需要作了许多补充和修改。全套图书共十八
册，不过百万余字，篇幅约为《电机工程手册》的十分之
一，既是百科全书式的工具书，又可以作为学习电气科学知
识的入门读物。大中学校师生、企业管理人员、科技人员和

其他各行各业的读者，都可能从书中得到一些有用的知识。我相信这套小百科全书会受到读者的欢迎，同时也希望广大读者特别是电气科技工作者一起来发表意见，集思广益，帮助编译者进一步修订好这套小百科全书，使之逐步完善，成为一套具有中国特色的电气知识普及读物。

毛 鹤 年*

1987年夏季

* 毛鹤年同志是我国电机工程学界的老前辈。生前担任中国电机工程学会理事长、国际大电网会议中国国家委员会主席。这篇序言是毛鹤年同志在1987年夏季撰写的。毛鹤年同志已于1988年10月病逝。

编 译 说 明

1982年日本欧姆社(OHM社)在建社70周年之际,出版了一本《图解电气百科事典》,以大约百万字的篇幅,介绍了包括电的基础知识、电力的生产与应用、电子技术、通信、广播、电视、计算机和自动控制等各方面的知识。这套《电知识小百科全书》就是以《图解电气百科事典》为蓝本,根据电气科学技术近年间的最新发展和我国的国情,作了较多的修改和补充编译而成的。全套丛书共18分册。各册的书名是:

1. 电的基础知识
2. 电工材料与电子器件
3. 电子电路
4. 电气测量与电工仪表
5. 电机与电器
6. 电力系统与新能源
7. 工厂用电
8. 安装电工
9. 安全用电
10. 照明
11. 电热利用
12. 自动控制
13. 电子计算机
14. 电气通信与广播电视
15. 交通与电气

16. 医疗与电气

17. 家庭用电与家用电器

18. 趣味电气

这套小百科全书在编译体例上有以下特点:

(1) 具有百科全书的特色: 内容涉及与电有关的各个领域, 从最基础的电荷、电场、电流、电压等概念到超导材料、信息处理、医疗电子工程等正在迅速发展的高技术; 从电力的生产、输送、分配到工厂和居民生活用电等都有简明扼要、深入浅出的介绍, 适合各行各业、各个层次的读者的不同需要。

(2) 具有辞书类工具书的特点: 以基本概念、技术用语、定义规律为中心组织各部分内容。各个分册、各个部分总体上互相联系, 局部又都各自形成完整的叙述。读者可以方便地查阅所要了解的事项。

(3) 书中的叙述避免冗长的文字和繁杂的数学公式, 收集了较多的插图, 具有中等文化程度的读者都能阅读。

本书在编译过程中, 参考了国内外近年出版的许多百科类、辞书类和科普类图书。书中涉及技术标准之处均已统一为我国的国家标准或部颁标准, 计量单位亦已按新的国家标准核定。

能源部南京自动化研究所孙左一主持了《电知识小百科全书》的编译工作, 参加编译工作的还有(以姓氏笔划为序): 马师模、孙中途、刘开增、刘振乾、何方、何云、罗贤伟、罗贤杰、张在德、张耀东、童永富、傅鸿仓、熊葆芳等。本分册编译者为何方、罗贤杰、孙左一, 审稿者为耿文学。

本书编译工作得到毛鹤年、韩祯祥、王平洋、都兴有、

蔡洋、马经国、廖培鸿、叶世勋等学术界前辈的鼓励和支持；水利电力出版社的领导和有关编辑给予许多指导和帮助；南京自动化研究所图书馆为编译者查阅图书资料提供了诸多方便。在此谨向所有关心、支持、帮助过这项工作的同志表示衷心的感谢。

参加编、译、校、审工作的十余位同志兢兢业业，历时约三年，终于完成书稿，陆续付印。限于编译者的学识水平，书中仍会有尚未发现的疏漏和差错，祈望各位读者指正（通信地址：南京323信箱）。

孙左一

1988年7月1日

目 录

1 电气测量的基本知识	1
测量的常用术语	1
直接测量与间接测量	2
直读法和比较法	3
电工仪器仪表	3
测量单位制	4
测量误差	8
有效数字	11
2 直流电流和电压的测量	12
磁电系仪表	12
电流表	13
电压表	14
3 交流电流和电压的测量	16
电磁系仪表	16
整流系仪表	17
热电系仪表	18
电子式电压表	18
4 微电流的测量	20
直流检流计	20
电子式检流计	21
5 电动势的测量	22
直流电位差计	22
直流电位差计的应用	23
标准电池	23

6	功率的测量	25
	电动系功率表的原理	25
	直流电功率的测量	26
	交流电功率的测量	27
	功率因数表	27
7	用电量的测量	29
	感应系电度表	29
	电度表的调整补偿	30
8	电阻的测量	32
	中值电阻的测量	32
	小值电阻的测量	33
	绝缘电阻的测量	34
	电解液电阻的测量	36
	接地电阻的测量	37
	电阻器	37
9	电感与电容的测量	39
	交流电桥	39
	电感的测量	39
	电容的测量	40
10	磁测量	42
	磁场的测量	42
	磁化曲线的测量	44
	铁损的测量	45
11	品质因数的测量	47
	Q表	47
12	频率的测量	50
	簧片式频率表	50
	指针式频率表	51
	电容充放电式频率表	51

电子式计数器	52
13 记录仪器	54
直接式记录仪	54
笔式记录仪	55
光线示波器	55
自动平衡记录仪	56
14 万用表	59
万用表的结构	59
直流电压的测量	59
直流电流的测量	61
交流电压的测量	61
电阻的测量	62
15 阴极射线示波器	64
阴极射线示波器	64
同步示波器	66
同步示波器的应用	67
16 非电量的电测量	71
位移和厚度的测量	71
应力和应变的测量	73
转速的测量	74
温度的测量	76
利用放射线进行测量	79
远方测量	81
17 电气测量的自动化	83
自动测试仪器	83
带微处理器数字电压表	85
自动测试系统	86
测量频率特性的自动测试系统	87

1 电气测量的基本知识

测量是人们对客观事物取得数量概念的认识过程。在测量中，观测者使用专门的设备，通过一定的实验方法，测定出以测量单位表示的被测量的数值。电气技术已经广泛应用于工农业生产和社会生活的各个领域，已进入了千家万户的日常生活中，电气测量的基本知识正在成为现代社会中，人人都要了解的生活常识。

电气测量和其它测量一样，包括三个阶段：

首先要明确被测量对象的性质和测量的目的，选定测量方式和方法，选择相应的仪器。这是测量的准备阶段。

接着建立测量仪器所要求的测试条件（如电源电压等级、环境温度等），按规程进行操作，认真记录测量数据。这是测量阶段。

最后，依据记录的数据，考虑测量条件的实际情况进行数据处理，求出测量结果和误差。这是数据处理阶段。

所以，研究一个完整的测量过程，必须研究测量对象、测量的方式和方法以及测量设备包括度量器与仪器仪表等各个方面的问题。

测量的常用
术 语

在测量工作中，有一些基本的术语，现分别作一介绍。

准确度——测量结果与被测量真实值间相接近的程度，是测量结果准确程度的量度。

精密度——测量中所测数值重复一致的程度，是测量重

复性的量度。精密度通常表现为测定数值的有效位数。

灵敏度——仪器仪表读数的变化量与相应的被测量的变化的比值。

分辨率——仪器仪表所能反映的被测量的最小变化值。

误差——测量结果与被测量真实值的差异程度。

量限(量程)——仪器仪表在规定的准确度下, 对应于某一测量范围所能测量的最大值。

直接测量与
间接测量

直接测量与间接测量是测量的两种主要方式。直接测量, 就是将被测量与标准量直接比较, 或用事先刻度好的测量仪表直接测得被测量的数值。间接测量, 就是先直接测量与被测量有一定函数关系的其它几个量, 再根据测量结果计算出被测量的数值。

现以测量电阻为例来说明这两种测量方式。如图1(a)所示, 用万用表测量电阻时, 被测电阻的电阻值可直接在表盘上读出, 这就是直接测量的方式。另外, 也可以分别用电流表和电压表直接测量通过电阻的电流强度和电阻两端的电压降, 再由欧姆定律的公式 $R=U/I$ 计算出 R 的数值, 这就是间接测量的方式, 如图1(b)所示。

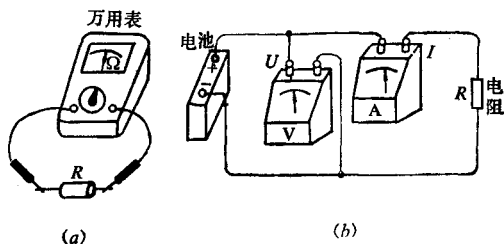


图 1 测量电阻的两种方式
(a)直接测量; (b)间接测量

直读法和 比较法

测量过程中要将被测量与标准量进行比较, 这种比较可以是间接的, 就是用仪器仪表来读出测量值而不使用作为单位复制体的度量器; 也可以是直接的, 就是将被测量与度量器直接较量。前者称为直读法, 后者称为比较法。比较法中根据具体的操作方法, 又分为平衡法、微差法和替代法等, 其中使用最广泛的是平衡法。

图2是用两种方法测量物体质量的例子。图2(a)是直读法, 将被测物放在弹簧称上, 指针就在表盘上移动, 指示出被测量的数值。在测量中并没有使用作为标准质量的度量器如砝码、称砣等, 而是事先用标准质量校准了弹簧称的刻度表盘, 即标准量是间接地起作用。用电流表测电流、电压表测电压等都是直读法的实例。

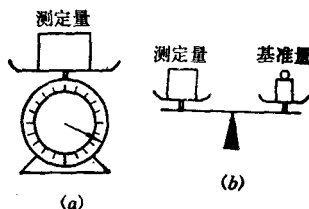


图 2 直读法和比较法
(a) 弹簧称; (b) 天平

图2(b)是比较法, 在天平两端分别放置被测物和作为标准质量的砝码, 当天平达到平衡时, 被测物的质量与砝码相等。在测量中, 标准质量与被测物直接比较。电气测量中常用的电桥、电位差计等都是根据比较法中的平衡法原理制作的。

电工仪器仪表

电工仪器仪表是电气测量的工具设备, 它们所测量的对象主要是电流、电压、功率、电能、电荷、相位、频率等电量和电阻、电容、自感和互感等电路参数, 电路参数又称

为电参量，电量和电参量统称为电学量，另外它们还用来测量磁感应强度、磁导率等磁学量。根据电工仪器仪表的原理和用途，电工仪器仪表大致可分为以下几大类：

指示仪表——又叫模拟式电表，由仪表指针的位移直接读出测量结果，常用的电流表、电压表、功率表等都是指示仪表。

数字仪表——采用逻辑电路，用数码显示被测量的仪表。随着电子技术的发展，数字仪表的种类越来越多，常用的有数字电压表、数字频率表、数字相位表和数字万用表等。

积算仪表——用以测量与时间有关的电量，在测量时间内对被测量进行累计。电度表就是测量电能的积算仪表。

较量仪表——用比较法进行测量的仪器。在电气测量中电桥和电位差计是最常用的较量仪表。

测磁仪器——用于测量磁学量和磁性材料的磁特性的仪表。

记录仪表和示波器——记录仪表用于连续记录被测量与另一变量的函数变化关系。示波器用来观察和记录迅速变化的被测量。

此外，还有用来扩大仪器仪表量限和对仪器仪表进行校验的辅助性装置。

测量单位制

在一组单位中，选取一些基本的物理量，这些量的单位可以任意地、彼此独立地加以确定，这些单位称为基本单位。由基本单位通过定义、定律或一定关系推导出来的单位就是导出单位。基本单位、导出单位等各种单位的总和，就是单位制。显然，选取的基本量和基本单位不同就构成了不

同的单位制。现在国际上得到公认和广泛应用的是1960年第11届国际计量大会制定的国际单位制（简称SI）我国国务院已于1984年2月27日发布在我国统一实行法定计量单位的命令，规定我国的法定计量单位以SI的单位为基础，同时选用了一些非SI的单位构成。现将与电气测量关系密切的法定计量单位列表介绍如下：

表 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 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 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
能量；功；热	焦[耳]	J	$N \cdot m$

续表

量的名称	单位名称	单位符号	其它表示式例
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	°C	
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 4 国家选定的非国际单位制单位(部分)

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分	min	1min=60s
	[小]时	h	1h=60min=3600s
	天(日)	d	1d=24h=86400s
平 面 角	[角]秒	(^{''})	1 ^{''} =(π /648000)rad (π 为圆周率)
	[角]分	(['])	1 ['] =60 ^{''} =(π /10800)rad
	度	(°)	1°=60 ['] =(π /180)rad
旋转速度	转每分	r/min	1r/min=(1/60)s ⁻¹
质 量	吨	t	1t=10 ³ kg
	原子质量单位	u	1u $\approx$ 1.6605655 $\times$ 10 ⁻²⁷ kg