

电 测 技 术 问 答

张 乃 国 编 著

中国计量出版社

1986·北京

内 容 提 要

本书内容有三部分：电测基本知识、电磁测量与常用电工仪表、电子测量与常用电子仪器，最后简单介绍几种带微处理器的仪器。

本书的主要读者对象是工厂、研究所、学校等部门的初中级技术人员、仪表及电气工人，为此着重基础知识的叙述，力求联系实际。并以问答形式，使叙述简明，有针对性。可供晋级考核、技术培训或自学参考使用。

电 测 技 术 问 答

张 乃 国 编 著

责任编辑 倪伟清

中国计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

◆◆◆

开本 787×1092 1/32 印张 4 1/2

字数 101 千字 印数 1—15 000

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

统一书号 15210·604

定价 1.00元

目 录

图 目

一 电 测 基 础 知 识

1. 什么是电测技术? (1)
2. 什么是国际单位制? (2)
3. 一般的测量方法有几种? (7)
4. 如何选择测量方法? (8)
5. 什么是误差? (8)
6. 什么是绝对误差? 怎样计算? (9)
7. 怎样利用修正值? (10)
8. 什么是相对误差? 怎样计算? (11)
9. 什么是分贝误差? (12)
10. 仪表的准确度是怎样规定的? (12)
11. 仪器仪表的误差值怎样表示? (13)
12. 怎样估算一次直接测量的误差? (14)
13. 各种测量误差之间的区别是什么? (16)
14. 产生系统误差的原因是什么? 怎样减小它? (17)
15. 怎样计算系统误差的大小? (17)
16. 产生随机误差的原因是什么? 怎样减小它? (18)
17. 什么叫标准差? (18)
18. 异常数据以什么原则剔除? (20)
19. 如何由分项误差确定总误差? (20)
20. 误差合成对于选择测量方法有什么关系? (21)

21. 仪器仪表的基本误差与附加误差怎样合成? (22)
22. 测量数据应当取多少位合适? (23)

二 电磁测量与常用电工仪表

23. 电工仪表有哪几种? (25)
24. 测量电流和电压有哪些方法? (26)
25. 对指示仪表有哪些技术要求? (29)
26. 磁电系仪表有哪些特点? (30)
27. 电磁系仪表有哪些特点? (31)
28. 电动系仪表有哪些特点? (32)
29. 上述三种系列的仪表如何扩大量程? (33)
30. 用万用表测量电压时如何减小电表内阻对被测量的影响? (35)
31. 用万用表测量电流时为什么要注意电表压降? (37)
32. 用万用表测量非正弦电压时如何减小波形误差? (39)
33. 直流电位差计的特点是什么? 有哪些应用? (40)
34. 如何使用直流单电桥? (42)
35. 直流双电桥有哪些用途? (43)
36. 使用交流电桥时应当注意什么? (45)
37. 怎样测量有功功率? (46)
38. 怎样测量低功率因数情况下的功率? (47)
39. 怎样测量无功功率和三相功率? (48)
40. 怎样测量功率因数及相位角? (48)
41. 怎样测量电能? (49)
42. 怎样测量频率? (50)
43. 磁性材料的特征量有哪些? (51)

44. 磁学量的计量单位有哪些?	(54)
45. 空间磁场强度如何测量?	(54)
46. 磁心内部的磁场强度如何测量?	(56)
47. 基本磁化曲线如何获得?	(57)
48. 如何显示磁滞回线?	(58)
49. 如何测量铁心损耗?	(59)

三 电子测量与常用电子仪器

50. 什么是电子测量?	(61)
51. 电子测量有哪些特点?	(62)
52. 电子测量方法有哪几种? 如何选择?	(64)
53. 电子测量仪器有哪些种类?	(65)
54. 电子示波器有哪些用途和特点?	(66)
55. 电子示波器是由哪几部分组成的?	(67)
56. 电子示波器的主要技术指标有哪些?	(68)
57. 电子示波器分哪几种?	(71)
58. 高灵敏度示波管与普通示波管的区别是 什么?	(72)
59. 荧光屏上的波形是怎样形成的?	(75)
60. 示波器的同步是怎么回事?	(77)
61. 宽频带示波器有哪些特点?	(79)
62. 宽频带示波器的原理电路图能画得简单一 些吗?	(81)
63. 宽频带示波器面板上主要旋钮的作用是什么? 怎样使用?	(83)
64. 使用示波器时有哪些要领?	(87)
65. 用示波器能测量电压吗?	(88)
66. 用示波器测量电压有哪几种方法?	(88)

67. 用示波器如何测量直流电压和正弦交流电 压?	(90)
68. 用示波器如何测量脉冲电压?	(91)
69. 用示波器如何测量周期?	(92)
70. 用示波器如何测量脉冲波的上升时间?	(93)
71. 用示波器如何测量时间间隔?	(94)
72. 用示波器如何测量频率?	(95)
73. 用示波器如何测量相位差?	(96)
74. 用示波器如何判断三相交流电的相序?	(97)
75. 双线示波器有什么用途?	(97)
76. 双踪示波器有什么特点?	(98)
77. 什么情况选用双扫描示波器?	(100)
78. 什么情况选用超低频示波器?	(101)
79. 什么情况选用取样示波器?	(101)
80. 什么情况选用存储(记忆)示波器?	(102)
81. 怎样选择电子示波器的类型?	(102)
82. 频率特性测试仪(扫频仪)有哪些用途?	(103)
83. 频谱分析仪有哪些应用?	(105)
84. 晶体管特性图示仪有哪些用途?	(106)
85. 数字式仪器有哪些特点?	(107)
86. 比较型数字电压表是怎样工作的?	(109)
87. 积分型数字电压表是怎样工作的?	(110)
88. 多用型数字电压表是怎样构成的?	(112)
89. 数字电压表技术指标的意义是什么?	(113)
90. 怎样用数字仪器测量频率?	(115)
91. 怎样用数字仪器测量周期?	(116)
92. 怎样用数字仪器测量时间间隔?	(117)
93. 怎样用数字仪器测量相位差?	(118)

- 94. 如何用微处理器构成函数信号发生器?.....(119)
- 95. 带微处理器的数字电压表是如何构成的?.....(120)
- 96. 带微处理器的数字存储示波器是如何构成的?(121)
- 97. 逻辑分析仪有哪些用途?.....(122)
- 98. 光笔图形显示器有什么用途?.....(123)
- 99. 自动测试系统是怎样组成的?.....(124)
- 100. 能介绍几本进一步学习的参考书吗?(126)

一 电 测 基 础 知 识

1. 什么是电测技术?

这里所说的“电测”是广义的，它包括电磁测量、电子测量以及非电量的电测技术。总之，凡是用电的方法实现测量的原理及方法，统称为电测技术。

测量，是人们对自然界客观事物取得数量概念的认识过程。例如电气工人测量交流电源的电压，机械工人测量工件的几何尺寸等等。在自然界，对于任何事物，若要定量的进行评价，必须通过测量来实现。

对于测量一词，如果需要下个定义的话，可以说，为确定被测对象的量值而进行的实验过程。这里的“量值”包括被测量的数值大小和符号（正负）以及相应的单位名称。

实质上，测量是一种比较过程。它把被测的量与同种类的作为单位的量，通过一定的测量方法进行比较，确定出它是该单位的多少倍，亦即被测量的数值。例如，去商店买布，售货员用的米尺就是计量单位，所买布的长度即是与这把尺作比较而得出的结果。

被测量的数值与所选定的计量单位大小有关。上述布的长度，若改用“千米”作单位，则数值会变小；而用“厘米”作单位，数值就会变大。所以被测量数值的大小与所选单位的大小成反比关系。而没有单位的数值是没有意义的。

测量技术，是研究测量原理、方法和仪器等方面内容的一门科学。利用电磁技术所进行的测量，一般称为电磁测量

(或电气测量)；利用电子技术所进行的测量称为电子测量；通过传感器等变换技术将非电量(温度、压力、流量)等转换成电信号再进行的测量称为非电量电测技术。

通常所说的计量，它是研究计量单位、基准的建立与使用、测量的准确度以及计量法规和计量管理等的一门科学。它对于实现标准化、自动化、改善企业管理、提高产品质量等起着十分重要的作用。对科研、教学、生产所用的仪器仪表进行检定和校准，可以保证测量的准确性。

测量与计量二者有密切的关系，但不相同。测量是用已知的标准单位量与同类被测量进行比较，其误差是由测量仪器或测量方法引起的；而计量则认为所用仪器是标准的。它的测量对象是受检仪器，其误差是由被检仪器引起的。测量学与计量学二者相辅相成，互相推动，共同发展。

2. 什么是国际单位制？

单位的确定和统一是非常重要的，必须采用公认的单位。

国际单位制是由国际计量大会通过的在米制（公制）基础上发展起来的单位制，国际上简称为SI，它包括SI单位、SI词头、SI单位的十进倍数及分数单位三部分。它们是以法律形式规定的。经过1971年第14届国际计量大会修订，有七个SI基本单位：

- (1) 长度单位：米 (m)
- (2) 质量单位：千克(kg)
- (3) 时间单位：秒 (s)
- (4) 电流单位：安[培] (A)
- (5) 热力学温度单位：开[尔文] (K)
- (6) 物质的量单位：摩[尔] (mol)
- (7) 发光强度单位：坎[德拉] (cd)

常用电学和磁学的量和单位

表 1

项号	量的名称	符号	单位名称	符 号	备 注
1	电流	I	安〔培〕	A	在交流电技术中, 用 i 表示电流的瞬时值
2	电荷〔量〕	Q	库〔仑〕	C	$1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s}$
3	电荷〔体〕密度	ρ	库〔仑〕每立方米	C/m^3	$\rho=Q/V$ (V : 体积)
4	电荷面密度	σ	库〔仑〕每平方米	C/m^2	$\rho=Q/A$ (A : 面积)
5	电场强度	E	伏〔特〕每米	V/m	$E=F/Q$ (F : 力) $1\text{ V}/\text{m}=1\text{ N}/\text{C}$
6	电位	V	伏〔特〕	V	$1\text{ V}=1\text{ W}/\text{A}$
7	电位差, 电压	U	伏〔特〕	V	在交流电技术中, u 用于电位差的瞬时值
8	电动势	E	伏〔特〕	V	
9	电通〔量〕密度、电位移	D	库〔仑〕每平方米	C/m^2	矢量, 其散度等于电荷体密度
10	电通〔量〕, 电位移通量	Ψ	库〔仑〕	C	$\Psi=DA$ (A : 面积)
11	电容	C	法〔拉〕	F	$C=Q/U$ $1\text{ F}=1\text{ C}/\text{V}$
12	介电常数 (电容率)	ϵ	法〔拉〕每米	F/m	$\epsilon=D/E$ (E : 电场强度)
13	真空介电常数 (真空电容率)	ϵ_0	法〔拉〕每米	F/m	
14	相对介电常数 (相对电容率)	ϵ_r			无量纲 $\epsilon_r=\epsilon/\epsilon_0$
15	电流密度	J	安〔培〕每平方米	A/m^2	
16	电流线密度	A	安〔培〕每米	A/m	电流除以导电片宽度

续表

项号	量的名称	符号	单位名称	符 号	备 注
17	磁场强度	H	安〔培〕每米	A/m	矢量, 其旋度等于电流密度 (包括位移电流) $1\text{Oe(奥斯特)}=79.6\text{ A/m}$
18	磁位差	U_m	安〔培〕	A	$U_m = \int_1^2 H \cdot ds$ (ds, 距离的微分)
19	磁通势	F	安〔培〕	A	$F = \oint H \cdot ds$ (ds, 距离的微分)
20	磁通〔量〕密度, 磁感应强度	B	特〔斯拉〕	T	$1\text{ T}=1\text{ Wb/m}^2$ $=1\text{ N}/(\text{A}\cdot\text{m})$ $=1\text{ V}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ $1\text{ Gs(高斯)}=10^{-4}\text{ T}$
21	磁通〔量〕	Φ	韦〔伯〕	Wb	$\Phi = B \cdot A$ (A: 面积) $1\text{ Wb}=1\text{ V}\cdot\text{s}$ $1\text{ Mx(麦克斯韦)}=10^{-3}\text{ Wb(韦)}$
22	磁矢位	A	韦〔伯〕每米	Wb/m	矢量, 其旋度等于磁通密度
23	自感	L	亨〔利〕	H	$L = \Phi/I$ $1\text{ H}=1\text{ Wb/A}$
24	互感	M	亨〔利〕	H	$M = \Phi_1/I_2$ Φ_1 : 穿过回路 1 的磁通 I_2 : 回路 2 的电流
25	耦合系数	k	—		无量纲 $k = M/\sqrt{L_1 L_2}$
26	漏磁系数	σ	—		无量纲 $\sigma = 1 - k^2$
27	磁导率	μ	亨〔利〕每米	H/m	$\mu = B/H$ $1\text{ H/m}=1\text{ Wb}/(\text{A}\cdot\text{m})$ $=1\text{ V}\cdot\text{s}/(\text{A}\cdot\text{m})$
28	真空磁导率	μ_0	亨〔利〕每米	H/m	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{ H/m}$
29	相对磁导率	μ_r			无量纲 $\mu_r = \mu/\mu_0$
30	磁化强度	M, H_i	安〔培〕每米	A/m	$M = (B/\mu_0) - H$

项号	量的名称	符号	单位名称	符 号	备 注
31	电磁波传播速度	c, c_0	米每秒	m/s	若用 c 代表介质中的速度, 则真空中的速度用 c_0 表示
32	〔直流〕电阻	R	欧〔姆〕	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
33	〔直流〕电导	G	西〔门子〕	S	$1 \text{ S} = 1 \text{ A/V}$
34	电阻率	ρ	欧〔姆〕米	$\Omega \cdot \text{m}$	$\rho = RA/l$ (A : 面积; l : 长度)
35	电导率	γ	西〔门子〕每米	S/m	$\gamma = 1/\rho$
36	绕组的匝数	N			无量纲
37	相数	m			无量纲
38	极对数	p			无量纲
39	相〔位〕差, 相〔位〕移	φ	弧度	rad	
40	阻抗, (复数阻抗)	Z	欧〔姆〕	Ω	$Z = Z e^{j\varphi} = R + jX$ $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
41	阻抗模, (阻抗)	$ Z $	欧〔姆〕	Ω	$ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
42	电抗	X	欧〔姆〕	Ω	阻抗的虚部 $X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$ (当 L 、 C 串联时)
43	〔交流〕电阻	R	欧〔姆〕	Ω	阻抗的实部; 在交流电技术中, 电阻均指交流电阻, 如需与直流电阻区别, 则可使用全称
44	品质因数	Q	—	—	无量纲 $Q = X/R$
45	导纳,(复数导纳)	Y	西〔门子〕	S	$Y = 1/Z$ $1 \text{ S} = 1 \text{ A/V}$
46	导纳模	$ Y $	西〔门子〕	S	$ Y = \sqrt{G^2 + B^2}$
47	电纳	B	西〔门子〕	S	导纳的虚部

续表

项号	量的名称	符号	单位名称	符 号	备 注
48	[交流]电导	G	西[门子]	S	导纳的实部; 在交流电技术中, 电导均指交流电导, 如需与直流电导区别, 则可使用全称
49	功率	P	瓦[特]	W	$P=IU$ (直流时) $P=IU\lambda$ (单相正弦交流时) $1W=1J/s=V\cdot A$
50	视在功率, (表观功率)	S	伏安	$V\cdot A$	当 $u=\sqrt{2}U\cos\omega t$ $i=\sqrt{2}I\cos(\omega t-\varphi)$ 时, $S=IU$ U, I 为有效值 u, i 为瞬时值, φ 为相角
51	[有功]功率	P	瓦[特]	W	当 u, i 为 50 项所述时, $P=IU\cos\varphi$
52	无功功率	Q	乏	var	当 u, i 为 50 项所述时, $Q=IU\sin\varphi$
53	瞬时功率	p	瓦[特]	W	$p=iu$
54	功率因数	λ	—	—	无量纲 $\lambda=\cos\varphi$
55	电能[量]	W	焦[耳]	J	有功功率对时间的积分

这些基本单位都是有严格定义的。例如：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。

我国是采用国际单位制的国家。1983年国家标准局发布并实施关于《量和单位》的国家标准，1984年2月27日国务院又发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，1984年3月4日人民日报公布发表了《中华人民共和国

国法定计量单位》。

为了便于读者了解和正确使用，现将常用的电学和磁学的量和单位列于表1。

3. 一般的测量方法有几种？

按获得测量结果的方法来分，有：

(1) **直接测量法**：无需对被测的量与其它实测的量进行函数关系的辅助计算，而直接得到被测量值的测量方法。例如用电压表测量交流电源电压等。

(2) **间接测量法**：利用直接测量的量与被测的量之间已知的函数关系，经计算得出被测量值的测量方法。例如通过直接测量电压及电流得出功率 $P = UI$ 即是。

(3) **组合测量法**：兼用直接测量与间接测量的方法，将被测量和另外几个量组成联立方程，再通过求解联立方程得出被测量的大小。由于近代计算机的逐渐普及，这一方法被广泛应用。

按所用测量仪器仪表来分，有：

(1) **直读测量法**：直接从仪器仪表的表盘上读出测量结果。例如用水银温度计测量温度等。

在这种测量方法中，作为计量标准的实物并不参与测量。

(2) **比较测量法**：在测量过程中，被测量与标准量直接进行比较，而获得测量结果。例如，用电桥测电阻，电桥中的标准电阻参与测量。

应当说明的是，上述直读测量法与直接测量法并不完全相同。同理，比较测量法与间接测量法也不能等同。例如用电桥测电阻，是比较法，属于直接测量；用电压、电流表法测功率，是直读法，属于间接测量。

当然按测量方式来分还有自动测量、非自动测量；原位测量和远距离测量。按精确程度来分有精密测量和工程测量等等，不一一列述。

4. 如何选择测量方法？

正确的测量方法，可以得到比较精确的测量结果，否则就会出现测量数据错误，不可信赖，损坏测量仪器仪表或损坏被测设备和元器件等现象。

例如，用万用表的 $R \times 1$ 档测量小功率三极管的发射结电阻时，由于仪表的内阻很小，使管子基极注入电流过大，结果晶体管尚未使用就在测试过程中被损坏了。CMOS 器件测试后，没有按规定将引线封装起来，由于不正常放置而产生栅极击穿现象，这种损坏元件的情况，是使人很痛心的。

在选择测量方法时，应首先考虑被测量本身的特性、所处的环境条件、所需要的精确程度以及所具有的测量设备等因素，使测量方法与测量仪器相配合。综合考虑后，正确地选择测量方法、测量设备并编制合理的测量程序，才能顺利地得到正确的测量结果。

5. 什么是误差？

一个生产电阻元件的工厂，出厂一批标称值为 1000Ω 、 $\pm 5\%$ 的产品，经检验都在 1060Ω 以上，显然是不合格的，理由是误差（6%）大于允许值。

一个量值其本身所具有的真实大小，称为真值。任何测量仪器的指示值或量具的标称值，都不可能完全准确地等于被测量的真值。由于在测量过程中，人们对于客观认识的局限性、测量工具不准确、测量手段不完善或测量工作中的

疏忽等原因，都会使测量结果与被测量的真值不同，这个差异称为误差。

测量工作的价值取决于测量的精确程度，当测量误差超过一定限度，测量工作和测量结果以至所做的结论将是没有意义的，甚至会给工作带来危害。

我们研究误差的目的就是要设法减小误差，合理地制定测量方案，正确地选择测量方法和仪器设备，使误差降低到最低限度。

6. 什么是绝对误差？怎样计算？

由测量所得到的被测量值 x 与其真值 A_0 之差，称为绝对误差。用 Δx 表示，即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1)$$

当 $x > A_0$ 时， Δx 是正值； $x < A_0$ 时， Δx 是负值。所以 Δx 是有大小、正负，有单位的数值。它的大小和符号分别表示测量值偏离真值的程度和方向。

〔例 1〕一个被测电压，其真值 $U_0 = 100 \text{ V}$ ，用一只电压表测量，其指示值 $U_x = 101 \text{ V}$ ，求绝对误差是多少伏？

解： $\Delta U = U_x - U_0 = 101 - 100 = +1 \text{ V}$

这是正误差，表示以真值为参考基准，测量值大了 1 V 。

真值，是一个理想的数值，前述的国际单位制中的七个基本单位即是计量学的约定真值。但对测量者而言，是测量不出来的，只能尽量接近它。通常把高一级或数级的标准仪器（或计量基准）所测得的数值代替真值。只要这种标准仪器的误差与所用测量仪器的额定误差相比，为其 $1/3$ 至 $1/20$ 时，则可以认为前者的给出值就是后者的相对真值。为了区别起见，称标准仪器的给出值为实际值，用 A 表示。由于实际值比测量值更接近真值，所以在一般情况下用实际值代替

真值是允许的。这时的绝对误差：

$$\Delta x = x - A \quad (2)$$

一般规定，绝对误差的单位必须与测量值一致。

顺便指出，计算绝对误差时，一定要用测量值减实际值，不能弄错。在早期版本的书籍中，有的写成实际值减测量值，现应纠正过来。

7. 怎样利用修正值？

与绝对误差的绝对值大小相等、但符号相反的量值称为修正值（或校正值）。用 C 表示

$$C = A - x = -\Delta x \quad (3)$$

通过检定（校准），由上一级标准给出受检仪器的修正值。常常以表格、曲线或公式的形式给出修正值。

在测量时，利用测得的结果与已知的修正值相加，即可得到被测量的实际值。

$$A = x + C \quad (4)$$

〔例 2〕一只量程为 10 V 的电压表，当用它进行测量时，指示值为 8 V，若检定时 8 V 刻度处的修正值为 -0.1 V，求被测电压的实际值。

解：实际值 $U = 8 + (-0.1) = 7.9 \text{ V}$

这说明含有误差的测量值加上修正值后就可以减小误差的影响。这是经常采用的方法。

测量仪器应当定期送计量部门进行检定，其主要目的就是获得准确的修正值，以保证量值传递的准确性。同理，利用修正值，必须在仪器的检定有效期内，否则要重新检定。

对于自动化程度较高的测量仪器，可以将修正值编成程序储存在仪器中，在测量时，仪器对测量结果自动进行修正。