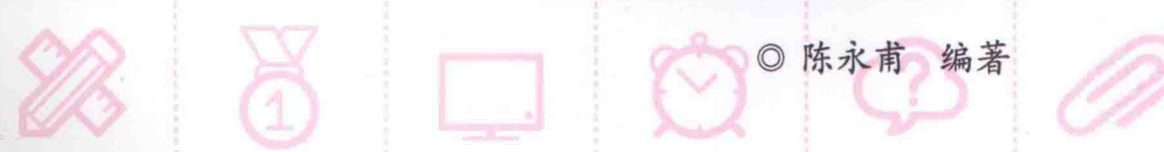


即学即用 电工电子技术丛书



轻松学 同步用

常用电子测量 仪器使用



© 陈永甫 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

即学即用 电工电子技术丛书

轻松学同步用 常用电子测量仪器使用

陈永甫 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本介绍电子测量仪器使用的应用图书，主要包括电子测量、指针式万用表、数字式万用表、信号发生器、毫伏表、电子示波器、频率特性测试仪等，共计七章。

本书是实践性很强的应用图书，重点突出了实用技术和操作技巧。在编写安排上，按照由浅入深、循序渐进的认知规律，以通俗简洁的语言和图文结合的形式，简明扼要地阐明了必须掌握的核心内容及操作要点，突出实用性。为配合所学内容，每章末配有同步自测练习题，它涵盖了本章重点检测内容和各知识要点，理论联系实际，即学即用，并附各题答案，解题过程清晰、答案准确，便于读者自学。

本书编写以突出应用性为出发点，选材讲究，内容精练，图文结合，易学易懂，适合中学文化程度，现从事电工、电子应用、生产人员或转岗人员自学阅读，或作为高职院校、中专院校、职校技校的培训教材，也可供电工、电子、电气技师、技工、电子爱好者、家电维修人员学习与参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

轻松学同步用常用电子测量仪器使用 / 陈永甫编著. —北京: 电子工业出版社, 2014. 6

(即学即用电工电子技术丛书)

ISBN 978-7-121-23350-0

I. ①轻… II. ①陈… III. ①电子测量设备—基本知识 IV. ①TM930. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 112709 号

策划编辑: 柴 燕

责任编辑: 毕军志

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 北京天宇星印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787 × 1 092 1/16 印张: 11.5 字数: 294.4 千字

版 次: 2014 年 6 月第 1 版

印 次: 2014 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着科技的发展，尤其是电子技术的迅猛发展，人们身边的电子、电气产品越来越多。这些产品的大量生产和广泛应用离不开电子测量仪器的支撑，同时企业对各层次电子测量人才的需求日益彰显。《轻松学同步用常用电子测量仪器使用》一书就是在这种需求背景下编写的。

本书参照国家对高等职校、中专职业教学计划中的《电子测量教学大纲》和《电子测量技能和训练教学大纲》进行编写，具有以下特点。

(1) 按照仪表的功能类型分章编写，每章内容主题鲜明，同一功能类型的仪表各选一个具有代表性的模拟式仪器和数字式仪器进行介绍、对比，并凸显其各自的应用特点。

(2) 为使读者尽快建立基本测量概念和掌握测量的基础知识，对仪器原理的介绍，以仪器的电路结构框图进行定性分析为主，对具体电路尽量避免冗长的分析和烦琐的数学推导，突出了测量仪器的应用性能和操作技能。

(3) 在电子测量仪器的选型上，尽量考虑具有典型性和性价比较高的通用仪表，对同类型的仪表能起到举一反三、触类旁通的作用。

(4) 在编写上，按照由浅入深的认知规律，以简洁通俗的语言和图文结合的形式，简明扼要地阐明必须掌握的核心内容和操作要点。

(5) 同步自测练习题及参考答案。每章末均配有同步自测练习题，它涵盖了本章的各主要知识点和应用要点，理论紧密联系实际，即学即用，章尾附各题答案，解题思路清晰，解题过程完整，答案精准，便于读者自学。

本书由陈永甫编著，参与编写的还有谭秀华，王文理，龙海南，张梦儒等。由于电工电子技术发展极为迅速，限于作者水平，书中难免存在不足之处，诚请专家和读者批评指正。

编著者

2014年4月于紫园

关于书中相关栏目的说明

◆ **各章知识结构**：每章始页绘出了该章的知识结构图，它概括了该章的知识内容、重要定理、推理、公式和主要知识点。读者只需浏览片刻，就能迅速地了解该章的重要知识点，理清各知识点之间的脉络联系及体系结构。

◆ **要点**：位于每节的开始，点明该节的实质内容或结论，以便于读者了解所讲述的中心内容和精髓所在。

◆ **基本内容**：本节的主要部分，对“要点”点明的内容进行详细介绍或系统论证，突出基本概念和基本定律，语言通俗，易学易懂。

◆ **例题**：结合内容，列举典型例题，以有助于深入理解课程内容，消化所学知识，并从中学习解决问题的方法，提高分析问题的能力。

◆ **相关知识**：穿插于各章节之中，对与所讲内容相关的知识或连带的技术（信息）做扼要说明或介绍，加强知识间的链接，拓宽知识面。

◆ **应用知识**：穿插于各章节中，结合书中内容，联系实际，列举应用实例或典型现象，进行简短说明或分析，学用结合，提高读者的应用能力和动手制作能力。

◆ **图表的使用**：为了便于理解所讲内容，书中安插了大量配图，图形绘制精细，表达确切，图文结合，易学易懂；书中也配备了大量数据表格，资料来源确切、翔实，可直接用来进行电路计算或工程设计。

◆ **解题提示**：对有代表性的例题和较难的练习题，从分析其题意（或电路模型）、给定条件和求证（结果或结论）之间的关系入手，引导读者分析前因后果关系，理清解题思路，找出问题的症结所在，给出解决问题的方法。

◆ **题后分析**：有些习题可能有多解或思路不同的解法（或做法）。题后进行讨论、分析、比较，一者引导读者广开思路，找出最简解法（或做法），提升综合分析能力；二者通过归纳解题技巧和做题方法，提高读者解题的思维技巧，巩固所学，做到融会贯通，达到触类旁通的功效。

目 录

第 1 章 电子测量	1
1.1 电子测量基础知识	3
1.1.1 电子测量的内容	3
1.1.2 电子测量的特点	3
1.1.3 电子测量的基本方法	4
1.2 测量误差	6
1.2.1 真值与测量误差	7
1.2.2 测量误差产生的原因	7
1.2.3 测量误差的表示方法	9
同步自测练习题	14
同步自测练习题参考答案	15
第 2 章 指针式万用表	17
2.1 万用表概述	19
2.2 指针式万用表的结构及测量原理	19
2.2.1 MF-47 型指针式万用表的组成、结构	20
2.2.2 指针式万用表的测量原理	24
2.2.3 MF-47 型指针式万用表的技术指标	25
2.3 指针式万用表的使用	26
2.3.1 使用万用表前的准备工作	26
2.3.2 直流电压的测量	27
2.3.3 交流电压的测量	28
2.3.4 直流电流的测量	30
2.3.5 交流电流的测量	31
2.3.6 电阻的测量	31
2.3.7 电位器和微调电阻器的检测	35
2.3.8 用万用表检测无极性电容器	37
2.3.9 用万用表检测电解电容器	40
2.3.10 用万用表检测电感器	41
2.3.11 音频电平测量	44
2.3.12 用万用表检测整流二极管	47
2.3.13 用万用表检测稳压二极管	48
2.3.14 用万用表检测发光二极管 (LED)	51
2.3.15 半导体三极管的检测	53

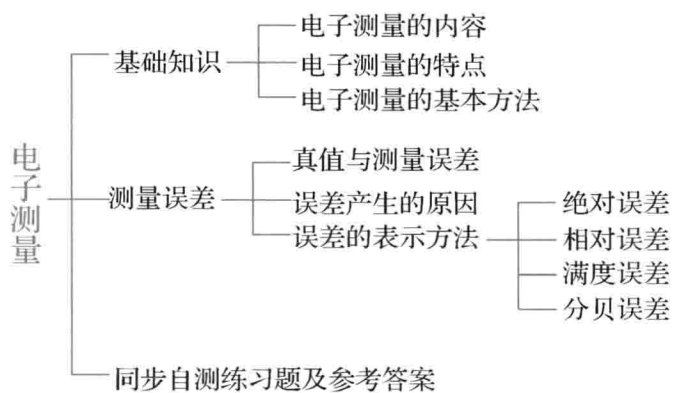
2.4 指针式万用表的使用注意事项及用后维护	56
同步自测练习题	59
同步自测练习题参考答案	59
第3章 数字式万用表	65
3.1 数字式万用表的电路结构、测试原理及技术特性	67
3.1.1 数字式万用表的电路结构及测试原理	67
3.1.2 数字式万用表的面板布置	68
3.1.3 DT-830 型数字式万用表的主要技术特性	70
3.2 数字式万用表的常规测量及合理使用	72
3.2.1 电阻和电位器的检测	73
3.2.2 测量直流电压	74
3.2.3 测量交流电压	75
3.2.4 测量交、直流电流	75
3.2.5 检测电容器的质量和容量	76
3.2.6 检测二极管	77
3.2.7 检测三极管	78
3.2.8 使用注意事项	80
同步自测练习题	81
同步自测练习题参考答案	82
第4章 信号发生器	85
4.1 正弦波信号源	87
4.1.1 正弦波信号的特点及分类	87
4.1.2 信号发生器的一般组成	88
4.1.3 正弦信号发生器的主要技术指标	89
4.2 低频信号发生器	90
4.2.1 XD-2 型低频信号发生器的组成	90
4.2.2 XD-2 型低频信号发生器的主要技术指标	91
4.2.3 XD-2 型低频信号发生器操作面板的配置及功能	91
4.2.4 XD-2 型低频信号发生器的使用方法	92
4.2.5 用 XD-2 型低频信号发生器检测驻极体传声器	93
4.3 高频信号发生器	94
4.3.1 XFG-7 型高频信号发生器的组成	95
4.3.2 XFG-7 型高频信号发生器操作面板的功能	96
4.3.3 XFG-7 型高频信号发生器的主要性能指标	97
4.3.4 XFG-7 型高频信号发生器的使用方法	98
4.3.5 用 XFG-7 型高频信号发生器和毫伏表 DA-16 调中放	100
同步自测练习题	101
同步自测练习题参考答案	101

第 5 章 毫伏表	105
5.1 模拟式毫伏表	107
5.1.1 模拟式毫伏表的分类及其特点	107
5.1.2 均值型毫伏表中的均值检波器	109
5.1.3 DA16-1 型模拟式晶体管毫伏表	110
5.2 数字式交流毫伏表	113
5.2.1 数字式交流毫伏表的电路结构和测量原理	114
5.2.2 SM1020 型全自动数字式交流毫伏表	116
同步自测练习题	122
同步自测练习题参考答案	122
第 6 章 电子示波器	125
6.1 电子示波器的特点及类型	127
6.1.1 电子示波器的特点	127
6.1.2 电子示波器的类型	127
6.2 通用示波器	128
6.2.1 通用示波器的基本电路结构及工作原理	129
6.2.2 示波管及波形显示原理	130
6.2.3 通用示波器的选用	132
6.3 ST-16 型单踪示波器	134
6.3.1 主要技术性能	134
6.3.2 ST-16 型单踪示波器面板的配置及功能	134
6.3.3 使用 ST-16 型示波器前的准备工作	136
6.3.4 使用 ST-16 型示波器的校准	138
6.3.5 直流电压的测量	139
6.3.6 交流电压的测量	139
6.3.7 周期 T 和频率 f 的测量	140
6.3.8 脉冲宽度的测量	141
6.3.9 脉冲上升时间 t_r 和下降时间 t_f 的测量	141
6.4 SR-8 型双踪示波器	142
6.4.1 双踪显示原理	142
6.4.2 主要技术性能	142
6.4.3 SR-8 型双踪示波器的面板配置与功能	143
6.4.4 双踪 SR-8 较单踪 ST-6 增加的控制开关	144
6.4.5 SR-8 型双踪示波器的实际使用	145
同步自测练习题	149
同步自测练习题参考答案	149
第 7 章 频率特性测试仪 (扫频仪)	155
7.1 频率特性测试仪的测量原理	157
7.1.1 幅频特性的测量	157
7.1.2 扫频仪的分类及常用术语	158
7.2 通用型 BT-3 型扫频仪	160

7.2.1	BT-3 型扫频仪的电路结构	160
7.2.2	BT-3 型扫频仪的主要技术指标	161
7.3	扫频仪的使用	161
7.3.1	BT-3 型扫频仪的面板配置及功能	161
7.3.2	BT-3 型扫频仪与被测设备的连接	163
7.3.3	无源网络幅频特性的测量	164
7.3.4	两级单调谐中频放大器幅频特性的测量	165
7.3.5	两级单调谐中放的增益测试	166
	同步自测练习题	167
	同步自测练习题参考答案	167
	参考文献	171

电子测量

本章知识结构





1.1 电子测量基础知识

测量是以确定被测对象的量值进行定量的操作过程。

电子测量是以电子技术理论为依据,以电子测量仪器仪表为工具,对各种电量、电信号及电路(或网络)的传输特性进行测量。电子测量是测量领域的一个重要分支。本节主要介绍电子测量的基本知识、电子测量的内容、电子测量的基本方法等。

1.1.1 电子测量的内容

测量是以确定被测对象的量值为目的的操作过程。量值是指由数值和计量单位的乘积所表示的量的大小。电子测量是泛指以电子技术为基本测量手段的一种测量。电子测量的被测对象范围很广,小至基本粒子、物质结构,大到宇宙探测、航天测控。本书是为初涉电子仪器仪表使用的读者编写的,主要介绍以下几种测量。

1. 电能量的测量

基本电能量的测量包括电压、电流和功率等的测量。

2. 电路元器件参数的测量

元器件参数的测量,包括电阻、电容、电感、半导体二极管、三极管、集成器件、品质因数等。

3. 电信号参数的测量

电信号参数包括信号波形、幅度、频率、相位、周期、失真度、调制度等。

4. 电路(或网络)性能的测量

电路(或网络)性能包括电路增益(网络衰减)、通频带、灵敏度、失真度等。

5. 特性曲线的测量或显示

特性曲线的测量包括时域测量和频域测量。时域测量是指测量被测量随时间的变化规律,例如,用示波器显示被测信号的瞬时波形、信号的幅度、信号宽度、上升沿和下降沿等参数;频域测量是指测量被测量随频率的变化规律,例如,用频谱分析仪来分析被测信号的频谱、测量放大器的幅频特性等。

1.1.2 电子测量的特点

电子测量是以电子技术理论为依据,以电子测量仪

要点

何谓电子测量

测量内容

电子测量特点



器、仪表为手段,对各种电量、电信号、电路元器件或网络的特性和参数进行测量。与其他测量相比,电子测量有如下特点。

量程宽

1. 测量量程范围大

由于被测对象的量值大小相差大,电子测量仪器应具有足够大的量程范围,例如,一台高灵敏度大量程的数字式万用表,能准确测出 $10\text{nV} \sim 10\text{kV}$ 的电压,量程达 12 个数量级 ($1\text{nV} = 1 \times 10^{-9}\text{V}$, $1\text{kV} = 10^3\text{V}$)。

精确度高

2. 测量精确度高

电子测量仪器的测量精确度,在许多情况下比其他测量的精确度高。例如,对时间频率的测量,在采用原子频标和原子秒作为基准后,使时间的测量精确度达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 数量级。

频率宽

3. 测量频率范围宽

目前可供使用的信号发生器中,有超低频信号发生器,可低至 10^{-5}Hz 至直流,还有低频、高频、超高频信号发生器,直至高达 10^6MHz 的(即 10^{12}Hz)的信号发生器。在这样极宽的频率范围内,对于不同的频段,电子测量所依据的原理和测量技术、测量方法是不同的。

速度快

4. 测量速度快

电子测量可综合电子技术、自动化技术和计算机辅助技术,使测量手段、测量效果最优化,对测量数据实施高速处理,其测量速度远比其他测量方法速度快。

5. 易实现测量的自动化、智能化、遥控和遥测

通过多种传感器技术,采用有线或无线传输方式,可实现人体不便接触或难以到达的场合或领域(如高温炉、核反应堆、深海、航天、宇宙星空等),利用遥测、遥控及自动化技术和数据处理技术,实现自动记录、分析和数据处理,构成一个自动化测量系统。

基于电子测量的上述特点,这种测量技术得到了广泛的应用。但电子测量存在易受干扰及误差处理较复杂等缺点,电子测量技术水平还有待进一步的发展和完善。

1.1.3 电子测量的基本方法

由于被测对象的物性不同、状态各异,故电子测量的测量原理、测量方法及测量手段也呈多样性。

根据测量手段的不同,分为直接测量、间接测量、比较

测量手段及测量方法



测量和代换测量等；根据测量性质的不同，分为时域测量、频域测量和数据测量；根据被测量在测量过程中是否变化，分为动态测量和静态测量；根据工作频率的不同，分为低频测量、高频测量和微波测量等。

1. 测量手段不同的测量方法

为了实现测量的准确性和有效性，正确选择测量方法是极其重要的。根据测量时所采取的测量手段，电子测量的方法可分为以下4种。

1) 直接测量法

顾名思义，直接测量法是一种直接得到被测量值的测量方法。凡是用预先按已知标准量标定好的测量仪器，对被测物直接进行测量并通过测量仪表盘的刻度或标尺直接得出测量结果。例如，用磁电式电压表测量电压，用功率表测功率，用转速表测量转速等。

直接测量法的优点：测量过程简单、快捷，在工程测量中被广泛采用。

2) 间接测量法

间接测量法与直接测量法不同，它是利用直接测量的量与被测量之间已知的函数关系，得到被测量值的测量方法。例如，欲求得电路中已知其电阻值的电阻 R 上所消耗的功率 P ，身边又无功率计，通过测出电阻 R 两端的电压降 U ，根据功率关系式 $P = U^2/R$ ，便可求出功率 P 。

间接测量法通常在被测物不便使用直接测量法，或缺乏直接测量的仪表，或嫌直接测量法的测量误差大的情况下采用。

3) 比较测量法

比较测量法是一种在测量过程中，将被测量与标准量直接进行比较从而获得测量结果的方法。比较测量的特点是量具直接参与测量过程。例如，用直接单臂电桥采用比较式仪表就可用来精密测量 $1 \sim 10^6 \Omega$ 的各种导体电阻的阻值。

根据被测量与标准量（标准量具之值）的比较方法不同，比较测量法又分差值法、零值法、替代法和重合法。

比较测量法的准确度高，但操作较烦琐，一般常用于精密测量和仪表检验。

4) 组合测量法

组合测量法是一种将直接测量和间接测量两者兼用的测量方法。在有些测量中，被测量与多个未知参数有关，可以

常用测量方法

比较测量法

组合测量法也称联立测量法



应用举例

通过改变测量条件，将各被测量参数以不同的组合形式出现，通过多次测量，然后根据被测量与未知参数之间的函数关系列出方程组，通过解联立方程而求出被测量参数的值。故这种组合测量法又称为联立测量法。

组合测量法的测量过程较冗长、复杂，但容易达到较高的准确度，使用计算机求解比较方便且省时，这种精密测量方法很适用于科学实验或特定测试。

●例 1.1 组合测量求解导体电阻的温度系数 α 、 β 和室温电阻 R_{20} 。

解 为了测量导体电阻的温度系数，需利用电阻值与温度间的关系公式

$$R_t = R_{20} + \alpha (t - 20) + \beta (t - 20)^2 \quad (1-1)$$

式中， α 、 β 为电阻的温度系数； R_{20} 为电阻在室温（20℃）时电阻值； t 为测量时的温度。

为了测出 R_{20} 、 α 、 β ，采用改变测试温度的方法。在 t_1 、 t_2 、 t_3 三种温度下，分别测出与之相对应的电阻值 R_{t_1} 、 R_{t_2} 和 R_{t_3} ，将各测量值代入式（1-1），得到如下联立方程：

$$\left. \begin{aligned} R_{t_1} &= R_{20} + \alpha (t_1 - 20) + \beta (t_1 - 20)^2 \\ R_{t_2} &= R_{20} + \alpha (t_2 - 20) + \beta (t_2 - 20)^2 \\ R_{t_3} &= R_{20} + \alpha (t_3 - 20) + \beta (t_3 - 20)^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

解此联立方程，则可求得 R_{20} 、 α 和 β 。

2. 测量方法的选择

由于人们对物象的客观规律的认识存在局限性，或使用的测量工具不准确，或采用的测量手段、方法不合理，导致测量工作进展缓慢或测量结果不准确，达不到预期的测量目的。为了实现测量目的，正确地选择测量方法是极其重要的。在测量任务（目标）确定后，应根据被测物的特点（如大小、物性、稳定性能、动态特性、测量环境、测量空间、测量时限等）、测量所要求的准确度、测量周围环境及进行测试的测量仪器设备完善情况进行考虑，选择正确的测量方法和合适的测量仪器。在综合考虑并确定初步方案后，应制订可行的测量实施计划，科学有序地进行测试，以达到测量的目的。

如何选定测量方法

1.2 测量误差

测量的目的就是获得被测量的真值。所谓真值，就是被

要点



测对象的物理量本身所具有的真实数值。研究误差的目的，在于找出误差产生的根源、误差的性质和特点，合理制定测量方案，正确选择测量方法及测量仪器。测量误差的表示方法主要有四种：绝对误差、相对误差、满度误差和分贝误差。

1.2.1 真值与测量误差

1. 真值的概念

何谓真值

通过上面的讨论已明确：测量是确定被测对象量值为目的的操作过程。当某被测量在排除所有测量上的缺陷并被完善地确定时，通过严格地测量所得到的量值称为真值 (true value)。一个被测量的真值，是被测物本身所具有的真实数值，它是一个理想的概念。

真值是客观存在的，但实际上是难以准确测量出来的。

2. 测量误差

在实际测量时，由于人们对被测量的客观物性的认识的局限性、测量器具不准确、测量手段不合理或不完善、测量环境或测量条件的变化、测量过程中的错误或人为差错等原因，都会导致所测量的量值与真值不同。被测量的量值与真值的差异称为测量误差 (measurement error)。实际测量中，测量误差是很难避免的。我们在测量时，要做的是尽量将测量误差降至最小或限制在允许的范围内。

测量误差 ε 可表示为

$$\varepsilon = M - T \quad (1-3) \quad \text{测量误差定义}$$

式中， M 为实际测试值； T 为真值。

误差百分数 ε_0 表示为

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon}{T} \times 100\% \quad (1-4)$$

1.2.2 测量误差产生的原因

测量误差的产生是测量过程中各种因素综合作用的结果。误差主要来自以下六方面。

误差来源有六方面

1. 理论误差

理论误差是指由理论或经典公式计算出的数值与真值之间的差异。例如，一个平行板电容器理论电容量 c 为

$$c = \varepsilon \frac{s}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{s}{d} \quad (1-5)$$

式中， ε 为电介质的介电常数， $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ ； ε_0 为真空（空气）



中的介电常数； ϵ_r 为电介质的相对介电常数； s 为电容器的极板面积； d 为两极板的间距。

实际上，由于极板（不是无限大）的边缘效应，使平行板电容器的实际容量与理论容量存在误差。

理论误差的原因

导致理论误差的原因，有的是在测量时所依据的理论不严密或采用了不适当的简化，用近似公式或近似值计算测量结果时带来的误差。

2. 仪器误差

仪器误差是由于电子测量仪器本身性能不完善所引起的误差，例如，由于仪表刻度不准、调节机构不完善等造成的读数误差；由于仪器老化、环境改变等原因导致的稳定性误差；由于年久维护不良或不校准等计量不准造成的误差。

3. 方法误差

测量方法不合理

由于测量方法不合理所造成的误差，称为方法误差。例如，用低内阻的普通万用表去测量高内阻回路的电压，由于万用表内阻低而引起的误差。

4. 环境误差

环境误差也称为影响误差，它是由于周围的环境因素与测量仪表所要求的条件不一致所造成的误差。例如，温度、湿度、大气压强、电磁场变化等影响因素而引起的测量误差。

5. 人身误差（人为误差）

人为误差

由于测量者的分辨能力弱，或久坐久测带来的视神经疲劳、反应速度慢，或坐姿歪斜、斜视，或思想不专注、不良习惯招致的读错、计错等而引起的误差称为人身误差，又称人为误差。

6. 使用误差（操作误差）

操作误差

使用误差是由于测量者对测量仪器操作不当而造成的误差，故又称为操作误差。例如，仪器说明书要求测量前应进行预热而未预热；仪器使用前对仪表盘应进行校准而未校准；用示波器测量信号幅度前应进行幅度校准而未校准；有些仪表使用时要求水平放置而垂直放置等。

以上从六方面讨论了测量误差的来源，也说明测量误差是客观存在的，在一定条件下测量误差是不可避免的。我们寻找误差来源的目的，在于通过各种途径和方法减小误差，使测量值尽可能地接近被测物的真值。