

电子仪器和测量



浙江商业学校

一九七九年二月

前 言

无线电测量是指无线电技术所用频率范围内（从音频到超高频）的一切电气特性的测量。这里面包括：

——电路元件的电参数（如电阻值，电感量，电容量，线圈的品质因素，线圈的固有电容等等）；表征着无线电设备工作状态的物理量（例如电压，电流，电功率等的数值，以及调幅深度，调频指数等）；表征着无线电设备的质量指标的一些物理量（例如效率，放大系数，通频带，灵敏度，频率稳定度等等）；以及无线电设备工作时可能受到的干扰，发射机辐射场强度等等。

可以说，没有无线电测量，就不可能有无线电技术。任何无线电设备的制造、调整、运行、维修都离不开无线电测量。

测量，不管在科学技术和生产、维修的任何部门的日常工作中都显得非常重要。

科学研究工作常常对事物进行实验性的探讨，这实际上就是一系列的测量。没有适当的测量方法和测量仪器，科学研究工作是无法进行的。

测量在生产中也起着巨大的作用。现代的生产，特别是在社会主义计划经济情况下的现代生产的特点，是极严格地遵守技术规程和普遍地采用生产过程的自动控制。只有借助于测量技术，测量出表征各种技术操作过程中每一部分和每一环节的特性的那些参量，现代生产的要求才能得到保证。在我国，在生产过程中亦日益广泛地采用各种电子仪器。在另一方面，生产上的成就又保证了新材料的获得和仪器另件制造的更加精密，这就为测量技术的发展开创了更为广大的可能性。

测量，目前在无线电维修工作中也有着广泛的应用，通常无线电整机电声性能故障的出现，总是会反映为电路电流、电压、信号波形的不正常，这可以通过测量仪器的测量进行分析判断，迅速发现故障所在，从而提高维修速度。

此外，无线电测量还广泛用于原子物理、天文、地质、医药、机械工业、建筑工业诸方面。

对于从事无线电设备的设计、制造、试验或运行维修的无线电工程技术人员，都必须熟悉无线电技术中日常遇到的各种数量的测量方法和掌握测量用电子仪器的工作原理特性和使用方法，才能胜任自己的工作。电子仪器和测量课程便是为了培养学生在这方面的能力而设置的。

电子技术是从电工技术的基础上发展起来的一个部门，但是由于它的特点，电子测量技术的内容要比电工测量丰富和复杂得多。无线电测量有如下的特点：

1. 测量种类多。在电工测量中主要测量的数量有电流、电压、功率和电阻、电容、电感以及频率、相位等一些数量。而在无线电测量中除了这些数量之外还要测量一些电工中不常测的或根本不测的数量，例如，线圈及回路的品质因数、非正弦波的失真系数、高频已调波的调制系数、辐射电磁场的强度、传输线上的反射系数和驻波等等；此外还对各种无线电设备的技术特性的系统测量。

2. 测量频率范围宽广。最低从十分之几赫（ 10^{-1} ）以至最高达到几万兆赫或更高，换句话说，频率二端极限的比值达到 10^{11} 以上。

3. 待测之量的数值范围极其广泛。例如待测的电压可能小到不及1微伏而大到数十千伏，功率小到微微瓦而大到兆瓦，电阻自毫欧到兆兆欧，电容自微微法到千微法，频率自若干分之一赫到数万兆赫。测量大小如此悬殊的数值必须采用各种不相同的方法和仪器。

4. 电流和电压的波形种类多。这些波形除了正弦波外，有失真的正弦波、方形波、锯齿波及各种特殊的脉冲波，和各种已调波等。由于波形不同，测量时有时需要测出其峰值、平均值及有效值，有时还需要用示波器直接观察其波形，或用其他一些特殊仪器测量波形的某些特性。

5. 测量仪器种类多、构造复杂。由上述的被测之量种类多、数值广、频带宽和波形奇特等特点可知，无线电测量仪器的种类要比电工测量仪器多得多；绝大多数无线电测量仪器都采用电子管和晶体管电路；这样，它们的构造原理和使用方法当然比单纯一只电表复杂得多。而且，有一些比较复杂的仪器是为了某种测量方法的需要而将各项测量部件集合成为一个整体，因此对它的了解便与测量方法分不开（如

前 言

2

第一章 测量方法和测量误差

- § 1-1 测量方法分类..... 4
- § 1-2 关于度量和测量仪器的一些基本概念和定义..... 5
- § 1-3 测量误差..... 8

第二章 交流电桥

- § 2-1 概述..... 19
- § 2-2 交流电桥的一般原理..... 19
- § 2-3 WQ-5万用电桥..... 25
- § 2-4 主要技术特性..... 35

第三章 Q表

- § 3-1 概述..... 39
- § 3-2 Q表组成及测量原理..... 39
- § 3-3 QBG-3型高频Q表..... 44
- § 3-4 QBG-3型高频Q表的使用方法..... 46
- § 3-5 QBG-3型高频Q表的主要技术特性..... 51
- § 3-6 QBG-3型高频Q表的维修与校准..... 54

第四章 电子管电压表

- § 4-1 概述..... 60
- § 4-2 GB-9B型电子管毫伏表的电路
及工作原理..... 62
- § 4-3 GB-9B型电子管毫伏表的使用条件
及主要技术条件..... 69

§ 4-4	GB-9B型电子管毫伏表的使用方法	71
-------	-------------------	----

第五章 信号发生器

§ 5-1	概述	78
-------	----	----

§ 5-2	XFG-7型高频信号发生器	74
-------	---------------	----

§ 5-3	XC-1A型音频信号发生器	97
-------	---------------	----

第六章 电子示波器

§ 6-1	概述	113
-------	----	-----

§ 6-2	SBT-5型同步示波器的工作原理	114
-------	------------------	-----

§ 6-3	SBT-5同步示波器主要技术特性	141
-------	------------------	-----

§ 6-4	SBT-5同步示波器的应用	144
-------	---------------	-----

§ 6-5	SBT-5型示波器的校验与常见故障维修	172
-------	---------------------	-----

第七章 频率特性测试仪

§ 7-1	概述	188
-------	----	-----

§ 7-2	BT-3型频率特性测试仪的基本组成	189
-------	-------------------	-----

§ 7-3	BT-3扫频仪的技术特性, 仪器 检查和使用	204
-------	---------------------------	-----

§ 7-4	常见故障及维修	209
-------	---------	-----

第八章 晶体管特性图示仪

§ 8-1	概述	218
-------	----	-----

§ 8-2	工作原理	218
-------	------	-----

§ 8-3	JT-1型晶体管特性图示仪的技术特性	222
-------	--------------------	-----

§ 8-4	JT-1型晶体管特性图示仪的使用	226
-------	------------------	-----

§ 8-5	JT-1的故障维修与校正	287
-------	--------------	-----

第九章 电视图象信号发生器

§ 9-1	概述	296
-------	----	-----

§ 9—2	电路及工作原理	297
§ 9—3	主要技术特性	310
§ 9—4	使用维修与校准	312

第十章 无线电测量仪器的维护与检修

§10—1	无线电测量仪器的维护	321
§10—2	无线电测量仪器的检修	328

附录 万用电表

§ 1	测量机构	331
§ 2	直流电压表	334
§ 3	电压表	337
§ 4	欧姆表	339
§ 5	500型万用电表技术特性	341
§ 6	万用电表的使用及注意事项	342

前 言

无线电测量是指无线电技术所用频率范围内（从音频到超高频）的一切电气特性的测量。这里面包括：

——电路元件的电参数（如电阻值，电感量，电容量，线圈的品质因素，线圈的固有电容等等）；表征着无线电设备工作状态的物理量（例如电压，电流，电功率等的数值，以及调幅深度，调频指数等）；表征着无线电设备的质量指标的一些物理量（例如效率，放大系数，通频带，灵敏度，频率稳定度等等）；以及无线电设备工作时可能受到的干扰，发射机的电场强度等等。

可以说，没有无线电测量，就不可能有无线电技术。任何无线电设备的制造、调整、运行、维修都离不开无线电测量。

测量，不管在科学技术和生产、维修的任何部门的日常工作中都显得非常重要。

科学研究工作常常对事物进行实验性的探讨，这实际上就是一系列的测量。没有适当的测量方法和测量仪器，科学研究工作是无法进行的。

测量在生产中也起着巨大的作用。现代的生产，特别是在社会主义计划经济情况下的现代生产的特点，是极严格地遵守技术规程和普遍地采用生产过程的自动控制。只有借助于测量技术，测量出表征各种技术操作过程中每一部分和每一环节的特性的那些参量，现代生产的要求才能得到保证。在我国，在生产过程中亦日益广泛地采用各种电子仪器。在另一方面，生产上的成就又保证了新材料的获得和仪器另件制造的更加精密，这就为测量技术的发展开创了更为广大的可能性。

测量，目前在无线电维修工作中也有着广泛的应用，通常无线电整机电声性能故障的出现，总是会反映为电路电流、电压、信号波形的不正常，这可以通过测量仪器的测量进行分析判断，迅速发现故障所在，从而提高维修速度。

此外，无线电测量还广泛用于原子物理、天文、地质、医药、机械工业、建筑工业诸方面。

对于从事无线电设备的设计、制造、试验或运行维修的无线电工程技术人员，都必须熟悉无线电技术中日常遇到的各种数量的测量方法和掌握测量用电子仪器的工作原理特性和使用方法，才能胜任自己的工作。电子仪器和测量课程便是为了培养学生在这方面的能力而设置的。

电子技术是从电工技术的基础上发展起来的一个部门，但是由于它的特点，电子测量技术的内容要比电工测量丰富和复杂得多。无线电测量有如下的特点：

1. 测量种类多。在电工测量中主要测量的数量有电流、电压、电功率和电阻、电容、电感以及频率、相位等一些数量。而在无线电测量中除了这些数量之外还要测量一些电工中不常测的或根本不测的数量，例如：线圈及回路的品质因数、非正弦波的失真系数、高频已调波的调制系数、辐射电磁场的强度、传输线上的反射系数和驻波等等；此外还对各种无线电设备的技术特性的系统测量。

2. 测量频率范围宽广。最低从十分之几赫（ 10^{-1} ）以至最高达到几万兆赫或更高，换句话说，频率二端极限的比值达到 10^{11} 以上。

3. 待测之量的数值范围极其广泛。例如待测的电压可能小到不及1微伏而大到数十千伏，功率小到微微瓦而大到兆瓦，电阻自毫欧到兆兆欧，电容自微微法到千微法，频率自若干分之一赫到数万兆赫。测量大小如此悬殊的数值必须采用各种不相同的方法和仪器。

4. 电流和电压的波形种类多。这些波形除了正弦波外，有失真的正弦波、方形波、锯齿波及各种特殊的脉冲波，和各种已调波等。由于波形不同，测量时有时需要测出其峰值、平均值及有效值，有时还需要用示波器直接观察其波形，或用其他一些特殊仪器测量波形的某些特性。

5. 测量仪器种类多、构造复杂。由上述的被测之量种类多、数值广、频带宽和波形奇特等特点可知，无线电测量仪器的种类要比电工测量仪器多得多；绝大多数无线电测量仪器都采用电子管和晶体管电路；这样，它们的构造原理和使用方法当然比单纯一只电表复杂得多。而且，有一些比较复杂的仪器是为了某种测量方法的需要而将各项测量部件集合成为一个整体，因此对它的了解便与测量方法分不开（如

Q表和外差频率计等等)。

6. 高频测量比低频测量困难多。在一个测量电路中, 由于元件、引线和地彼此之间的分布电容和互感的存在, 产生了不需要的耦合, 而这些杂散耦合引起的有害影响随着频率的增高会越来越大, 以至于使测量无法进行。测量电路中的电阻、线圈和电容等元件本身残余参数的影响, 以及集肤效应和介质损耗等也都随着频率的增高而增大, 因此在高频测量中, 还必须注意了解和考虑电路元件本身的频率特性, 才能获得正确的结论。在超高频中, 当测量电路的尺寸较之波长不能忽略时, 沿导线的电压和电流的不均匀分布, 导线上的电磁能辐射和邻近电路的幅射干扰等现象也必须加以注意。

学习本课程时, 主要要求弄清每种基本数量的测量方法和原理, 每种常用测量仪器的典型构造、性能特点和应用范围。由于所涉及的测量任务、测量方法和测量仪器种类的众多, 在学习时应注意熟悉何种方法和何种仪器适用于何种场合, 以及在何种频率下测量何等大小的何种数量应采用何种方法和仪器。本课程根据电视接收机调试、检修技术的需要, 着重讲述一些有关无线电测量基础知识, 常用电子测试仪器结构原理及使用方法, 并通过课程实验, 使学生在了解常用电子仪器原理的基础上, 着重掌握正确选择仪器及测量、使用方法, 为从事电视接收机的调试、检修打下必要的技术理论基础。

第一章 测量方法和测量误差

§ 1-1 测量方法分类

测量某一物理量就是将它与被采用作为测量单位的同类量相比较，也就是说，确定被测之量包含着给定单位的若干倍或者是该单位的若干部份。测量结果是一个有名数，包括数字和单位名称。

为某种测量单位所做成的具体的实物样品，称为该单位的度量。

为将被测之量与测量单位进行比较时所用的装置称为测量仪器。

为实现测量（即为获得所需要的测量结果）所采取的不同方案称为测量方法。

测量的方法基本上有二种：直接测量法和间接测量法。

直接测量法就是将被测的量直接与同一类的量比较的测量方法。它可以分为直接读数法和比较法二种。

当被测的量直接由测量仪器的读数决定，仪器的刻度就是被测的量的值时，这种方法称做直接读数法。例如用电子管伏特计测量电压，用安培计测量电流等。

当被测的量直接与这量的度量比较而决定时，这种方法称为比较法。例如测量频率时，将被测频率与标准频率比较。当耳机听到另拍时或者在示波器上看到一个椭圆时，被测频率值等于标准频率。

按照进行比较的方式不同，比较法又可分为另示法、测差法和替代法三种。

另示法——就是被测的量对于测量仪器的作用被一同类的已知量（度量）抵消到另的方法。例如，用平衡的电桥测量电阻，测量频率时，用已知频率来补偿它等。另示法有很多固有的优点，因而适宜于准确测量。

测差法——就是用仪器测出被测之量和一个与之近乎相等的已知度量之间的差值，从而确定被测之量数值的方法。

替代法——就是用已知量来替代被测的量而不引起测量仪器读数的变更的方法。例如用替代法测量表减量，测量阻抗等等。

当未知量不直接测量，而根据别的量的测量结果和被测的量与未

知量之间的关系值计算时，这种方法称做间接测量法。例如，测量导体的电阻时，可用安培计测量导体内的电流，而用伏特计测量导体两端的电压。已知电流 I ，电压 U 与电阻 R_x 之间的关系，可从下式求出电阻，

$$R_x = \frac{U}{I}$$

又例如，用热量计法测量功率，只要测量出流入和流出负载的水的温度差 ΔT ，以及水的流速 V ，就可以从已知的关系式求出功率

$$P = 4.18 \times V \times \Delta T \text{ 瓦}$$

在实际测量中，应用得最普遍的是直接读数法，因为这种方法最简单，需要的测量时间也最短，不过测量的准确度不高（0.2÷10%）。

要得到较准确的结果（达0.001%），可利用另值法，这种方法需要较长的测量时间，并且需要较复杂而贵重的仪器设备。

§ 1—2 关于度量和测量仪器的一些基本概念和定义

一、度量和测量仪器的分类

所有度量和测量仪器，按照它们在度量衡学中的地位不同，和按照它们在保证度量和测量仪器的正确和统一的事业中所起的作用不同，可以分为基准的、标准的和实用的三类。

在国家的计量机关中，利用现代测量技术的最高成就所复制和保持的各种度量和测量仪器称为基准的度量和测量仪器。

为了日常科学技术工作中所使用的各种实用的度量和测量仪器的校验和定度的需要，而以较之度量衡学准确度稍低的准确度制造出来的度量和测量仪器称为标准的度量和测量仪器。按照它们的准确度和校准的依据不同，标准度量和测量仪器又分为若干等级。最高级的标准是根据实用基准来校准的，其余各级标准是根据其上一级的标准来校准。

实用的度量和测量仪器又可分为实验用的和工程用的两类，

使用时必须计及测量准确度的度量和测量仪器称为实验室用的度

量和测量仪器。对于它们的示数应该备有校正数据。

具有一定的、预先规定的准确度的比较简单、价廉而且结实、可靠的度和测量仪器称为工程用的度和测量仪器。

二、度和测量仪器误差的定义

度和测量仪器的误差的决定是以标准的度和测量仪器为根据。

在度量上所标明的数值称为度量的标称值；根据标准度量或标准测量仪器所确定出的度量的数值称为度量的实际值（注意，实际值并不是真正值）。度量的标称值 A_H 与实际值 A 的差 ΔA 称为度量的绝对误差，即

$$\Delta A = A_H - A \quad (1-1)$$

绝对误差的负值，即实际值与标称值的差 δA 称为度量的补值（或称校正值），即

$$\delta A = A - A_H = -\Delta A \quad (1-2)$$

由是得

$$A = A_H + \delta A \quad (1-3)$$

即度量的标称值与其补值的代数和便等于实际值。

度量的绝对误差对于度量的实际值的百分数 γ 称为度量的相对误差，即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \times 100\% = \frac{A_H - A}{A} \times 100\% \quad (1-4)$$

由于 A_H 和 A 的数值很相近，在求相对误差时一般可将上式分母中的 A 用 A_H 替代而结果差别不大。

测量仪器的绝对误差 ΔA 是以仪器在测量某量时所给出的示数 A_1 与被测之量的实际值 A 的差说明的，即

$$\Delta A = A_1 - A \quad (1-5)$$

所谓被测之量的实际值是指用标准度量或标准测量仪器所决定出的该量的值。

和度量相仿

$$\delta A = A - A_1 = -\Delta A \quad (1-6)$$

称为仪器的补值；

面

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \times 100\% \approx \frac{\Delta A}{A_1} \times 100\% \quad (1-7)$$

称为仪器的相对误差。

对于某些测量仪器（例如所有指针式仪表），它们的误差程度以其绝对误差 ΔA 对于其量程的满度值 A_r 的百分数说明的更有意义。这样表示的相对误差称为该仪器的额定相对误差（或称满度相对误差），即

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_n} \times 100\% = \frac{A_1 - A}{A_n} \times 100\% \quad (1-8)$$

测定仪器或度量的误差手续称为校验或校准。

〔例1〕设用一只量程满度值为 $I_n = 50$ 安的安培计测量电流，读出其示数为 $I_1 = 20$ 安；但同时以标准安培计测出该电流的实际值为 $I = 20.5$ 安。于是便知该安培计在其 20 安刻度上的绝对误差为：

$$\Delta I = I_1 - I = 20 - 20.5 = -0.5 \text{ 安}$$

补值为：

$$\delta I = I - I_1 = 20.5 - 20 = +0.5 \text{ 安}$$

相对误差为：

$$\gamma = \frac{\Delta I}{I} \times 100\% = \frac{-0.5}{20.5} \times 100\% \approx -2.5\%$$

或认为：

$$\gamma = \frac{\Delta I}{I_1} \times 100\% = \frac{-0.5}{20} \times 100\% = -2.5\%$$

用安培计满度值的百分数表示的满度相对误差为：

$$\gamma_n = \frac{\Delta I}{I_n} \times 100\% = \frac{-0.5}{50} \times 100\% = -1\%$$

三、度量和测量仪器的容许误差和准确度等级

制造度量或测量仪器的厂家按照国家计量机关所制定的检定规程的规定所确定的某项度量或测量仪器在正常使用条件下所不应超过的最大误差称为该项度量或仪器的容许误差。度量和测量仪器的准确度（即其示数的可靠程度）通常就以它们的容许误差的数字来说明。容

许误差愈小者准确度愈高。由于容许误差只是规定误差的数值限度而不限定其符号，故通常在容许误差数字之前标以“±”号。

度量的容许误差有的用绝对误差的形式规定，也有时用相对误差的形式规定。例如某种标准电阻线圈的容许（相对）误差为±0.01%，某种标准可变电容器的容许（绝对）误差为±1微微法等。

测量仪器的容许误差，按照仪器的种类不同，有的用绝对误差的形式表示（例如一般测量相位的仪器的容许误差通常说明为若干度）；有的用相对误差的形式表示（例如，某复用电桥测量电感时的容许误差规定为±2%；还有时用相对误差和绝对误差结合表示（在仪器的最小量程中常常如此表示，例如上述电桥在测量5毫亨以下的电感时的容许误差规定为±3%，±5微亨）。至于绝大多数指针式仪表（象各式安培计、伏特计等），它们的容许误差都用满度相对误差的形式表示。

某一种仪器的容许误差应该用什么形式来表示是根据该项仪器的性质决定的。例如一般指针式仪表的误差具有这样的性质，即在其刻度的各个部分上均可能出现同等大小的最大绝对误差；而为了说明这样大小的绝对误差对于仪表的量程而言是否严重，便应将它表示为量程满度值的百分数，换言之，即应以满度相对误差的形式表明之。

〔例2〕设某伏特计的量程满度值为100伏，其准确度（即容许误差）规定为±1%，这便说明在刻度的各部分上可能出现的最大绝对误差均为其满度值的1%，即 $100 \times 1\% = 1$ 伏。

§ 1—3 测量误差

任何一次测量总是有误差的，即使我们用最准确的仪器极其精细地来进行测量，所得结果永远不一定是被测量的真实值，而只是它的近似值。重复多次的某精度测量，所得的结果也总不完全相同。测量误差是由各式各样的原因产生的，要完全掌握并消除一切测量误差的来源是不可能的。此外经验告诉我们，不同的误差来源在测量过程中出现的方式也是各不相同的。

测量的质量以测量的精确度作为指示，而通常则是根据测量误差无测·8·

的大小来判别测量的精确度。测量结果的误差愈小，则测量就愈精确；反之，测量就愈不精确。如果能够掌握那些不可避免的测量误差的产生原因及其规律，就有可能与之斗争而达到一定的测量精确度。

直接测量的误差取决于测量的方法，所用的测量仪器，测量时的环境以及进行测量的人。间接测量的误差取决于其中直接测量的精确度以及利用的计算公式的准确程度。

仅仅进行必须的测量（即为求得被测量的量值所必不可少的测量，例如要测量一个电压值，用一个伏特计测量一次，这一次测量就是必须的），对测量结果的误差是无法判断的。只有在有了多余的测量（即超过了必须的测量时，其余的都是多余的测量，例如要测量一个电压，用伏特计去测量 n 次，那末其中一次是必须的，而其余的 $n-1$ 次则是多余的）之后，测量结果才能被认为是可靠的。依靠多余的测量可以提高测量精确度，断定测量的精确度，发现并消除可能发生的计算错误及测量差错。

一、测量误差的分类

测量误差的来源和性质是多种多样的。从便于估计和确定误差大小的观点来看，测量误差可以分为系统误差、偶然误差和疏失误差三类。

1. 系统误差——就是指在重复进行同一测量时，其大小保持不变或按照一定规律而变的误差。这类误差通常来自测量设备的不完美或使用不当、环境条件的影响、观测者的个人癖性及所用测量方法的不严格等原因。这类误差的存在可借在不同情况下用不同仪器甚至用不同方法重复测量同一量，而由测量结果的差别发现之。由于它们的规律性，这类误差通常可借细致地研究它们的发生原因和性质而设法防止或消除之，或者设法确定其大小然后在测量结果中引入适当的补值以改正之。

2. 偶然误差——是指那些由于一切偶然因素而杂乱出现的、不带任何规律性的误差。这种误差的大小仅就个别次测量的结果是无法估计或消除的。然而，当在同样条件下以同样注意力重复进行很多次测量时，这种误差将服从下述两条公理，即：①等值而异号的误差出现的机会同样多；②愈大的误差出现的机会愈少，而过大的误差几乎不

出现。因此，若取各次测得数值的算术平均值作为最后的测量结果，则它们所包含的偶然误差将大为抵消；而且，根据概率论和统计学的方法可以计算出最后测量结果中所包含的偶然误差的可能数值和限度。

3. 疏失误差——是指在测量过程中由于观测者的偶然疏忽而发生的过大误差（例如误读仪表的示数或误作记录等）。这种误差一般很容易看出；对于显然包含有疏失误差的观测结果应予舍弃不计。

二、只进行一次测量误差的决定

在大多数工程测量中，我们通常满足于这样的准确度，就是只要结果的测量误差不超过某一预先给定的限度，例如 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 等等，而不要求确定实有误差的大小。在这种测量中，通常只须注意选用准确度（即容许误差）能与所要求的测量准确度相适应的度量 and 测量仪器来进行测量；而且测量通常只进行一次。所以在这种情况下，问题通常只在于如何根据所拟采用的测量器具的容许误差估计出测量结果中所可能包含的最大误差，以观其是否超过所要求的限度。对于其中实有的系统误差通常不需作具体的分析与改正；而偶然误差，由于只进行了一次测量，也无法加以计算。下面讨论在几种简单情况下对于一次测量的误差的估计方法。

1. 直接法测量误差的决定

当测量是用直读式仪器按直接法进行时，最大测量误差按下述方式估计：

(1) 如所用仪器的容许误差是用绝对误差和相对误差的形式表示，则测量误差的最大可能数值便等于仪器的容许误差的数值。

(2) 如所用仪器的容许误差是用满度相对误差的形式表示，则测量结果的最大误差须根据仪器的容许误差和仪器的示数求出。

设所用仪表的度盘上或其出厂说明书上标明的准确度（即容许满度相对误差）为 γ_n ，则按照定义

$$\gamma_n = \frac{\Delta A_{\text{最大}}}{A_n} \times 100\% \quad (1-9)$$

其中 $\Delta A_{\text{最大}}$ ——仪表的最大绝对误差；

A_n ——仪表量程的满度值。

元测·10·

由上式可知，在仪表度盘的任意点上所可能有的最大绝对误差，亦即用这仪表测量任何量时所得结果中可能有的最大绝对误差，为：

$$\Delta A_{\text{最大}} = \frac{\gamma_n A_n}{100\%}$$

将最大可能绝对误差与被测之量的测量值 A 之比用百分数表示之，便得最大可能的相对测量误差：

$$\gamma_{\text{最大}} = \frac{\Delta A_{\text{最大}}}{A} \times 100\% = \frac{\gamma_n A_n}{100\%} \times \frac{100\%}{A} = \gamma_n \frac{A_n}{A} \quad (1-10)$$

由式 (1-10) 可以看出，最大相对测量误差不仅决定于仪表的准确度 (即 γ_n) 而且与仪表的示数对其满度值之比有关；当仪表的示数较其满度值为甚小时，测量误差将远较仪表的容许误差为大。因此，使用指针式仪表时，应当这样地选择仪表的量程，使被测之量的数值能够出现在仪表度盘的上半部，并以尽量接近于满度值为佳。

【例3】设某伏特计的满度值为100伏，准确度为 $\pm 1\%$ ，试求用这伏特计测量10伏电压时和测量80伏电压时的最大可能测量误差。

测量10伏电压时，最大可能相对误差为：

$$\gamma_{10} = \gamma_n \frac{U_n}{U} = \pm 1\% \times \frac{100}{10} = \pm 10\%$$

测量80伏电压时：

$$\gamma_{80} = \pm 1\% \times \frac{100}{80} = \pm 1.25\%$$

由上可见，以100伏量程的伏特计测量10伏的电压时，结果的误差可能达 $\pm 10\%$ ，即远比容许误差的数值为大；而测量80伏时，可能的误差便较小。

2. 间接法测量误差的决定

用间接测量法时，被测的量经过计算而求得，确定最大可能测量误差的方法如下。设未知量由下式表示：

$$A = B^n C^m D^p$$

(1-11)

这里 B 、 C 和 D ——直接测量所得的量；

无测·11·