

# 仪器计量基础知识

## 第一章 绪论

### 一、计量概述

计量是指实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量学，是于测量的科学。计量学涵盖有关测量的理论与实践的各个方面,而不论测量的不确定度如何及 它在什么科学技术领域内进行。

计量的概念起源于商品交换，由于人们生活中最早近切需要测量长度、容量和重量，所以古代称为“度量衡”。春秋战国时期，各诸侯国各行其是导致 量值不统一。秦始皇统一六国后为了发展经济,颁布了统一度量衡的诏书，在我国开始了计量的法制管理。计量学的内容来自测量的需要，并随生产的发展、科技的发展和商贸的发展而越来越丰富。现在，其内容包括：

- 1) 研究计量单位及其基准、标准的建立、复制、保存和使用。
- 2) 研究计量方法和计量器具的计量特性。
- 3) 研究计量的不确定度。
- 4) 研究计量人员进行计量的能力。
- 5) 研究计量法制和管理。
- 6) 研究有关计量的一切理论和实际问题。
- 7) 基本物理常数，标准物质及材料特性等的准确测定等。

就学笠科而论，计量学可分为通用计量学、技术计量学、理论计量学、品质计量学、法制计量学、经济计量学。

可以说，一切可计量的量的计量测试，皆属于计量学的范围。

当前，比较成熟和普遍开展的计量科学领域有十二大计量：几何量（长度）、力学、热工电磁、电子（无线电）、时间频率、声学、光学、化学（标准物质）、电离辐射、振动转速、气象。

### 二、计量的特点

#### 1、统一性

这是计量最本质的特征。计量失去性,也就没有存在的意义。现在计量的统一性是世界范围的,即不限于国内，且遍及整个国际社会。国际米制公约（1875年）、国际计量局（1875年）和国际法制计量组织的使命，就是使计量工作在更广的范围实现统一。

#### 2、准确性

所谓准确是指获得合理的准确度，它同测量结果可重复是共存的。准确是计量的核心,也是计量权威的象征。在任何时间、地点、利用任何方法、器具、以及任何人进行的同类测量结果是可比较的，这才能体现计量保证的作用和价值。

#### 3、社会性

计量涉及到社会生活的各个方面,国民经济的各个部门。社会生活的各个领域，国际交往以至千家万户的衣食住行等，无不与计量有着密切的关系。

#### 4、法制性

对一个确定的计量范围实施制性管理,是计量的另一个特征。计量的社会性取决于计量的法制性。通过立法和贯彻实施来保障计量的社会性、计量的统一性和准确性，否则就成了 一句空话。

### 三、计量的作用与意义

#### 1、计量与科学技术的作用

计量是所有验证的技术基础和重要手段，历史上三次大的技术革命，充分地依靠了计量，同时也促进了计量本身的发展，而计量学的成就，又反过来促进了科技的发展。

#### 2、计量与工农业生产的作用

现在的社会化大生产已进入了科学阶段，这必须要求有高度的计量保证，可以说计量是科学生产的技术基础，它贯彻到生产的全过程。

#### 3、计量与国防的作用

计量对国防，特别是尖端技术的重要性，尤为突出。

4、计量与日常生活的意义是相当明显的可以说，人的一切活动都与计量有关，只不过自觉或不自觉罢了。

### 四、计量科技的主要领域----十二大计量

1、几何量：长度、角度、工程参量等。

2、力学：质量、密度、力、功、能、流量。

3、热工：热力学温度、热量、热容、热导率。

4、电磁：电流、电势、电压、电容、磁通、磁导。

5、电子：噪声、功率、调制、脉冲、失真、衰减、阻抗、场强等。

6、时间频率：时间、频率、波长、振幅、阻尼系数。

7、声学：声压、声速、声功率、声强。

8、光学：发光强度、光通量、照度、辐射强度、辐射通量、辐射照度等。

9、化学（标准物质）：物质的量、阿伏伽德罗常数、摩尔质量、渗透压等。

10、电离辐射：粒子能量密度、能通量密度、活度、吸收剂量等。

11、振动转速：振动幅度、振动频率、转速等。

12、气象：气温、气压、风速、相对湿度等。

## 第二章 计量单位制

### 一、计量单位与单位制

#### 1、量、量制与量纲

**量：**现象、物体或物质的可以定性区别和定量确定的一种属性。计量学中的量，都是指可以测量的量。一般意义的量，如长度、温度、电流；特定的量，如某根木棒的长度、通过某条导线的电流。可相互比较并按大小排序的量称为同种量，若干同种量合在一起可称为同类量，如功、热、能。

**量制：**彼此间存在确定关系的一组量。即在特定科学领域中的基本量和相应导出量的特定组合。一个量制可以有不同的单位制。

**量纲：**以给定量制中基本量的幂的乘积表示该量制中某量的表达式，其数字系数为1。

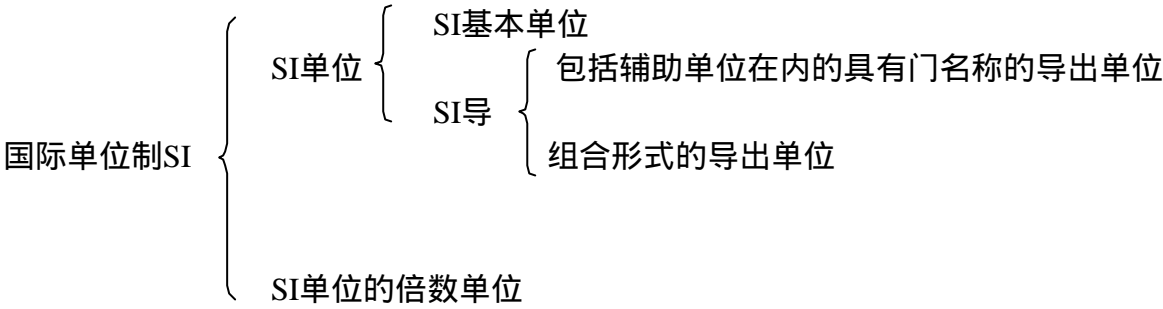
#### 2、计量单位与单位制

**计量单位：**为定量表示同种量的大小而约定地定义和采用的特定量。同类的量纲必然相同，但相同量纲的量未必同类。**单位制：**为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。

二、国际单位制

国际单位制是1960年第十一届国际计量大会（CGPM）通过，并用符号“SI”表示。由于SI的全部导出单位均为一贯计量单位，所以SI是一贯计量单位制。

1、国际单位制的构成



1.1 SI单位

1.1.1 SI基本单位

SI基本单位共7个,见表1。

表1 SI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

国际单位制基本量定义：

米(m)：米是光在真空中于（1/299792458） s 时间间隔内所经路径的长度。

千克(kg)：千克是质量单位，等于国际千克原器的质量。

秒(s):秒是与铯—133原子基态的两个超精细能级间跃迁相对应的辐射的9192631770个周期的持续时间。

安培(A)：在真空中，截面和可忽略的两根相距 1 米的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时，若导线间相互作用力中每米长度上为 $2\times10^{-7}$ 牛顿,则每根导线中的电流为 1 安培。

开尔文(K):热力学温度单位一尔文等于水的三相点热力学温度的1/273.16。

摩尔(mol):物质的量单位摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包括的基本单元数与0.012千克碳-12的原子数目相等。

在使用摩尔时应指明基本单元，可以是原子、分子、离子、电子或其它粒子，也可是这些粒子的特定组合。

坎德拉(cd):发光强度单位坎德拉是一光源在给定方向上发光强度,该光源发出频率为 $540\times10^{12}$  HZ的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为1/683瓦特每球面度。

1.1.2 SI导出单位

SI导出单位是按照一贯性原则，由SI基本单位与辅助单位通过选定的公式而导出的单位,导出单位大体上分为四种，一种是有专门名称和符号的；另一种是只用基本单位表示的；还有

一种是有专门名称的导出单位和基本单位组合而成的再一种就是由辅助单位和基本单位或有专门名称的导出单位所组成的。

SI的两个辅助单位弧度和球面度是由长度单位导出的，以前SI将它们单独列为一类，现将它们归为具有专门名称的导出单位一类。这样，包括SI辅助单位在内的具有专门名称的SI导出单位共有21个，见表2。

弧度：弧度是圆内两条半径之间的平面角，这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等。

球面度：球面度是一立体角，其顶点位于球心，而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形的面积。

1.2 SI单位的倍数单位

由SI词头加在SI单位之前构成的单位,就不再称为SI单位,而称为SI单位的倍数单位,或者叫SI单位的十进倍数或分数单位.应该注意的是,kg是质量单位而不是十进倍数单位。词头见表 3。

2、国际单位制的优越性

国际单位制的优越性有以下几点：

- 1) 严格的统一性；
- 2) 简明性；
- 3) 实用性；
- 4) 澄清了某些量与单位的概念。

表 2 包括SI辅助单位在内的具有专门名称的SI导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其它表示式例
平面角	弧度	rad	
立体角	球面度	sr	
频率	赫[兹]	Hz	s <sup>-1</sup>
力、重力	牛[顿]	N	kg.m/s <sup>2</sup>
压力、压强、应力、	帕[斯卡]	Pa	N/m
能量、功、热	焦[耳]	J	N.m
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 <sup>2</sup>
电感	亨[利]	Hz	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	℃	K
光通量	流[明]	lm	cd.sr
光照度	勒[克斯]	lx	lm/m
放射性活度	贝可[勒尔]	Bq	s <sup>-1</sup>
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

表 3 用于构成十进倍数和分数单位的词头

表示因数	词头名称	词头符号	表示因数	词头名称	词头符号
$10^{24}$	尧[它]	Y	$10^{-1}$	分	d
$10^{21}$	泽[它]	Z	$10^{-2}$	厘	c
$10^{18}$	艾[可萨]	E	$10^{-3}$	毫	m
$10^{15}$	拍[它]	P	$10^{-6}$	微	u
$10^{12}$	太[拉]	T	$10^{-9}$	纳[诺]	n
$10^9$	吉[咖]	G	$10^{-12}$	皮[可]	p
$10^6$	兆	M	$10^{-15}$	飞[母拖]	f
$10^3$	千	k	$10^{-18}$	阿[托]	a
$10^2$	百	h	$10^{-21}$	仄[普托]	z
$10^1$	十	da	$10^{-24}$	幺[科托]	y

### 三、中华人民共和国法定计量单位

我国的法定计量是以国际单位制为基础，根据我国的实际情况，适当地增加了一些其它单位而构成的，见表 4。

#### 1、法定计量单位的内容与定义

法定计量单位制的基本单位包括：

- 1) 国际单位制单位；
- 2) 国家选定的非国际单位制单位；
- 3) 由以上单位构成组合形式的单位。

表 4 国家选定的非国际单位制单位

序号	量的名称	单位名称	单位符号
1	时间	分	min
		[小]时	h
		天(日)	d
2	平面角	[角]秒	( " )
		[角]分	( ' )
		度	( ° )
3	旋转速度	转每分	r/min
4	长度	海里	n mile
5	速度	节	kn
6	质量	吨	t
		原子质量单位	u
7	体积	升	L
8	能	电子伏	eV
9	级差	分贝	dB
10	线密度	特[克斯]	tex
11	面积	公顷	hm <sup>2</sup>

#### 2、法定计量单位的使用方法

法定计量单位的使用方法见《计量学基础》第二章第三节第三小节。

## 一、测量误差

### 1、测量误差的定义

测量误差指测量结果与被测量的真值之差。这正是人们通常理解的绝对误差，表示为：

$$\Delta X = X - X_0$$

式中  $X$  --- 测量结果；  
 $X_0$  --- 真值

绝对误差有大小和符号，其单位与测量结果的单位相同；如三角形的三个内角和的真值为  $180^\circ$ ，实测结果为  $179^\circ$ ，则绝对误差为  $-1^\circ$ ，符号为负，说明测量结果小于真值。不应将绝对误差与误差的绝对值混淆，后者为误差的模。

仅从测量结果与真值之间的误差的数学一形式考查，除绝对误差外，这有相对误差、引用误差和分贝误差。

相对误差是测量结果的绝对误差  $\Delta X$  与真值  $X_0$  之比，即：

$$\varepsilon X = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\%$$

由于通常真值不能确定，实际上用的是约定真值。

引用误差是指计量器具的示值的绝对误差与器具特定值  $X_{lim}$  (如计量上限值\量程)之比，即：

$$X_{lim} = \frac{\Delta X}{X_{lim}} \times 100\%$$

分贝误差是指计量器具的示值的绝对误差与器具特定值  $X_{lim}$  (如计量上限值、量程) 之比即：

$$1) \text{ 电压量度 } \Delta D = 201g(1 + \frac{\Delta X}{X}) \approx 8.69 \frac{\Delta X}{X}$$

$$2) \text{ 功率量 } \Delta D = 101g(1 + \frac{\Delta X}{X}) \approx 4.35 \frac{\Delta X}{X}$$

### 2、测量误差的分类

一般将误差分为两类，即系统误差和随机误差。

系统误差是指在重复条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差。系统误差决定测量结果的“正确”程度。

随机误差是指测量结果与在重复条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差。随机误差决定计量结果的“精密”程度。

在实际工作台中，测量不可能进行无限次，通常又不知道被测量的真值，因此无论系统误差都是理想的概念，无法确切知道其值的大小，但可通过改进测量方法、测量设备及控制影响量等方法来减小客观存在着的测量误差。

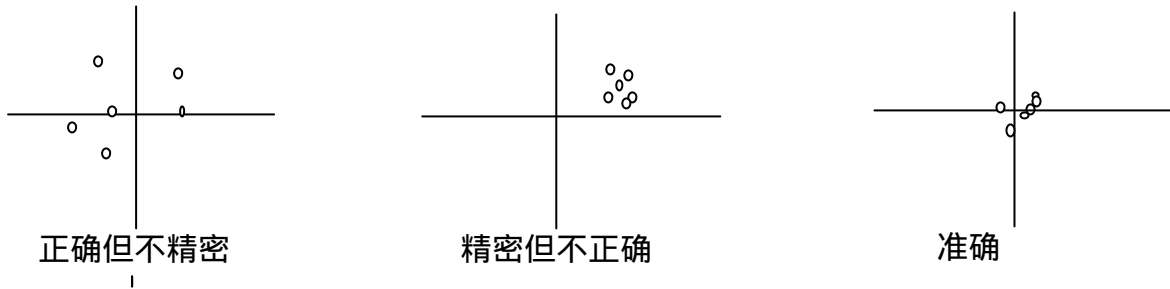
### 3、测量结果的正确度、精密度和准确度

为了对测量结果作出评估，引入正确度、精密度、准确度概念。

正确度反映了系统误差的大小，表明测量结果与真值的接近程度。

精密度也叫精确度（精度），直接表示测量结果与真值一致的程度。可以说准确度是精密度与正确度的综合表达。

下图表示了正确度、精密度、准确度三者的关系。



## 二、测量不确定度

测量不确定度，是表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相关关系的参数。

测量不确定度是说明测量结果不可信程度的一个参数。由于测量不完善和人们认识不足测量值是具有分散性的每次测量的测量结果不是同一值，而是以一定概率分散在某个区域内的许多个值。虽然系统误差实际存在的一个不变的误差值，但由于我们不能完全知道其值，知识认为它以某种概率分布存在于某个区域内，这种概率分布也具有分散性。测量不确定度是说明测量值而根据现有分散性的参数。

测量不确定度有两类评定方法：

A 类：则观测列统计分析所作的评定。所求得的是 A 类不确定度分量。

B 类：由不同于观测列统计分析所作的评定。所求得的是 B 类不确定分量。

无论是统计分析的 A 类不确定度分量这是非统计分析的 B 类不确定度分量，都可以用估计的标准不确定按方差与协方差合成得测量结果的不确定度称为合成不确定度。为了提供一个区间，将合成标准不确定度乘以包含因子（K）所得的不确定度称为扩展不确定度。

详细内容请参阅测量不确定度讲义。

## 三、测量误差与测量不确定的区别

测量误差与测量不确定度的区别见表 5。

表 5 测量误差与测量不确定度的区别

序号	测量误差	测量不确定度
1	是一个有正或负符号的量值，其值，其值为测量结果减去被测量的真值。	是一个无符号的参数值，用标准偏差或标准偏差的倍数表示该数的值。
2	误差表明测量结果偏离真值。	测量不确定度表明测量值的分散性
3	误差是客观存在的，不以人的认识程度而改变。	测量不确定度与人们对被测量和影响量及测量过程的认识有关。
4	由于真值未知，往往不能准确得到测量误差的值。当用约定真值代替真值时，可以得到测量误差的估计值。	测量不确定度可以由人们根据实验、资料、经验等信息进行评定，从而可以定量确定测量不确定度的值。
5	测量误差按性质可分为随机误差和系统误差两类，按定义，随机误差和系统误差都是无穷多次测量时的理想概念。	评定时一般不区分其性质，若需说明时表述为“由随机影响引入的不确定度分量”，“由系统影响引入的不确定度分量”。不能叫“随机不确定度”或“系统不确定度”。
6	已知系统误差的估计值时，可以对测量结果进行修正，得到已修正的测量结果。	不能用测量不确定度对测量结果进行修正，已修正的测量结果的测量不确定度中应考虑修正不完善引入的测量不确定度分量。

## 一、算术平均值与最小二乘法原理

### 1、算术平均值

算术平均值表示为：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

当计量次数 $n$ 足够大时,系列计量值的算术平均值趋近于真值,并且 $n$ 越大算术平均值越趋近于真值。

### 2、最小二乘法的基本原理

在一系列等精度计量的计量值中,最佳值是使所有计量值的误差的平方和最小的值。

对于等精度计量的一系列计量值来说,它们的算术平均值即为最佳值。

## 二、有效数字及其运算规则

### 1、有效数字

如果测量结果 $L$ 的极限误差不大于某一位上的半个单位,我们就说该位是有效数字的末位并且如果该位到 $L$ 的左起第一个非零数字一共有几位,就说不得 $L$ 有几位有效数字。

测量的研究与测量结果必须附有不确定度项,此时,测量结果的最后一位应与不确定度处于同一位上。

### 2、有效数字的运算规则

有效数字的运算规则是：

1) 当几个数作加减运算时,在各数中,以小数位数最少的为准其余各数均凑成比该数多一位小数,所保留的多一位数字常称为安全数字。

2) 当几数作乘法、除法运算时,在各数中,以有效数字位数最少的为准,其余各数均凑成比该数多一个数字,而与小数点位置无关。

3) 将数平方或开方后,结果可比地质学数多保留一或相同。

4) 对于复合运算,中间运算所得数字的位数应比单一运算所得数字的位数至少多取一位。

5) 若有效数字的第一位数为8或9,则有效位数可增计一位。

## 三、数字舍入规则

数字舍入规则：

1) 若舍去部分的数值大于是0.5,则末位加1。

2) 若舍去部分的数值大于是0.5,则末位不变。

3) 若舍去部分的数值大于是0.5,则末位应凑成偶数(即当末位为偶数时则末位不变,当末位为奇数时则加1)。

## 四、测量结果的表示方法

测量结果可表示为：

数值×测量单位±不确定度



计量器具是计量学研究的一个基本内容,是测量的物质基础.在国际上,讲师器具与测量仪器(measuring instrument)是同义术语,它被定义为“单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具”。在我国,计量器具是计量仪器(也称“主动式”计量器具)和量具(也称“被动式”计量器具)以及计量装置的总称。

按技术性能及用途,讲师器具可分为基准、标准和普通计量器具。

### 一、基准计量器具

计量基准就是在特定领域内具有当代最高计量特性,其值不必参考相同量的其他标准而被指定的或普通承认的测量标准。

经国际协议公认,在国际上作为给定量的其它所有标准定值依据的标准,称为国际基准。

经国家正式确认,在国内作为给定量的其它所有标准定值依据的标准,称为国家基准。

基准计量器具通常有主基准、作证基准、副基准、参考基准和工作基准之分。

基准计量器具的主要特征:

- 1) 符合或接近计量单位定义所依据的基本原理。
- 2) 具有良好的复现性,并且所定义、实现、保持或复现的计量单位(或其倍数或分数)具有当代(或本国)的最高精度。
- 3) 性能稳定,计量特性长期不变。
- 4) 能将所定义、实现、保持或复现的计量单位(或其倍数或分数)通过一定的方法或手段传递下去。

### 二、计量标准器具

计量标准是指为了定义、实现、保存或复现量的单位或一个或多个量值,用作参考的实物量具、测量仪器、标准物质或测量系统。

我国习惯称为“基准”高于“标准”,这是从计量特性来考虑的,各级计量标准器具必须直接或间接地接受国家基准的量值传递,而不能自行定度。

### 三、普通计量器具

普通计量器具是指一般日常工作中所用的计量器具,它可获得某给定量的计量结果。

计量器具一般有下列特征:

- 1) 标称范围,即上、下限;
- 2) 测量不确定度,即测量结果的可信程度;
- 3) 灵敏度,即器具响应的变化与被测量值的变化之比;
- 4) 鉴别力,即器具对微小变化的响应能力;
- 5) 鉴别力域,即对器具的响应而言,被测量的最小变化值;
- 6) 分辨力,即能够肯定区分的指示器示值的最邻近值;
- 7) 作用速度,即单位时间内测量的最大次数;
- 8) 稳定度,即器具保持计量特性不变的能力。

将国家计量基准所复现的计量单位量值，通过检定（或其它传递方式）传递给下一等级的计量标准，并依次逐级传递到工作计量器具，以保证被计量的对象的量值准确一致，称为量值传递。

量值准确一致的前提是，计量结果必须具有“溯源性”，溯源性的定义：通过一条具有规定不确定度的不间断的比较链，使测量结果或测量标准的值能够与规定的参考标准，通常是国家测量标准或国际测量标准联系起来的特性。溯源性的概念是量值传递概念的逆过程。

计量检定，是指计量器具的检定，是查明确认计量器具是否符合法定要求的程序，它包括检查、加标记和（或）出具检定证书。检定是进行量值传递源以及保证量值准确可靠的重要措施，因此，检定在计量工作中具有重要地位。

受检的计量器具应当由哪一级的计量保证标准对它进行检定，可以从该计量器具的检定系统中查出。如果该计量器具没有制定出检定系统，则按微小误差准则，可选用不确定度为受检计量器具不确定度  $1/3 \sim 1/10$  的计量标准进行检定。所有的正式检定，都必须严格按照有关的计量检定规程进行。

计量检定规程，是为检定计量器具而制定的技术法规，其中对规程的适用范围，计量器具的名称、计量性能、检定项目、检定方法、检定条件、检定数据的处理以及检定周期等皆有明确的规定，实际工作中必须遵循。

在查明和确认计量特性前，检定人员必须先对计量器具的外观、工作正常性等非计量特性进行检查，检查合格后进行校准。

校准是指在规定的条件下，为确定计量仪器或计量装置所指示的量值，或实物量具（包括标准物质）所代表的量值，与相对应的由计量标准所复现的量值之间关系的一组操作。校准结果既可给出被测量的示值，又可确定示值的修正值。

测试通常是指具有一定探索性的计量，一般无严格的规程可遵循，所以凡不属于正式检定的计量，我们称为计量测试。

### 一、量值传递的必要性

任何计量器具，由于种种原因，都具有不同程度的误差，计量器具的误差只在允许范围内才能应用，否则将带来错误的计量结果。对于新制的或修理后的计量器具，必须用适当等级的计量标准来确定其计量特性是否合格；对于使用中的计量器具，必须用适当等级的计量标准对其进行周期检定；另外，有些计量器具必须借助适当等级的计量标准来确定其示值和其它计量性能。因此，量值传递的必要性是显而易见的。

### 二、国家计量检定系统

为使量值合理有效地传递，确保量值的统一，正式的量值传递工作必须按照国家计量检定系统进行。对量值传递的基本要求是不确定度/准确度损失小可靠性高且简单易行。

国家计量检定系统（过去曾称为量值传递系统），是由国务院计量行政部门组织制定的全国性技术法规，其中用图表结合文字的形式，明确地规定由国家计量基准到各级计量标准直到普通计量器具的量值传递程序，包括名称、计量范围、准确度、不确定度、允许误差和传递方法等。

量值传递体系，是国家根据经济合理，分工协作的原则，以城市为中心，就地就近组织的量值传递网，该体系的形式见下图：

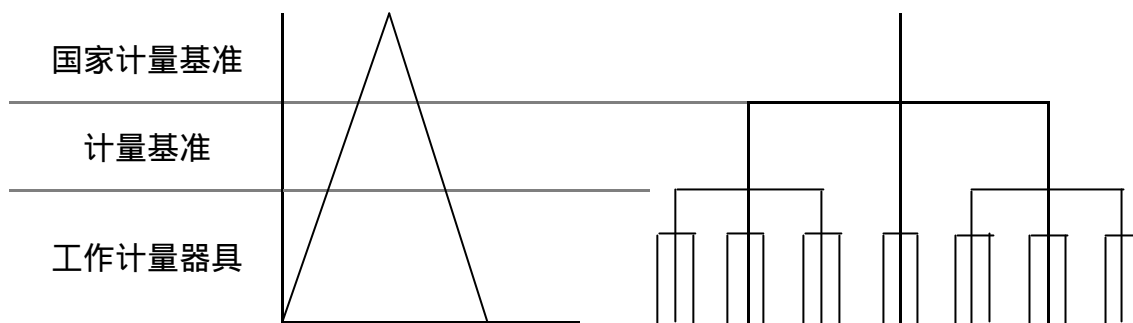


图 1 国家计量检定系统形式图

### 三、量值传递的基本方法

量值传递的方法，通常可分为直接传递和间接传递和间接传递。凡可直接进行传递者（如电压计量中的源和表），表直接传递法，凡不能直接进行传递（如电压计量中的源和源或表和表），则只好用间接传递法。所谓间接，是指传者与被传者不能直接进行量值传递，而必须通过一个过渡指示器（如电压计量中，若两面三刀者皆为源则用表，两者皆为表则用源），通常将其称为过渡标准，传递标准或比对标准。对过渡批示器的技术特性，在量值传递的具体技术文件中应有明确的规定。

### 四、检定方法

#### 1、直接检定法

直接检定法包括直接评定法，微差法，零位法。

直接评定法：将被测量量与已知的同类量直接比较，从而得出被测量量的值。

微差法：测量被测量量与已知量之间的微小差值，从而行出被测量量的值。

零位法：将被测量量与已知量相比较，并使两者的差值为零的一种测量法。

微差法与零位法不同在于，微差法要求有与被测量量值相近的精密标准器具，而零位法则可以采用比被测量量值小得多或大得多的标准器具。

#### 2、间接检定法

间接检定法是通过对被测量量有已知函数关系的其它量的测量而导出被测量量值的检定方位。

应该指出，在直接和间接检定中，还可以分为综合检定法和分项检定法。

综合检定法又和为整体检定法，是直接用计量基准、计量标准来标明和确认计量器具是否符合法定要求。

分项检定法又称为部件检定法，它分别分析与测量影响受检计量器具不确定度的各项因素或分量，然后通过计算求出合成不确定度或扩展不确定度，以查明和确认计量器具是否合格。

### 五、检定的步骤

检定的步骤为：

1) 外观与正常性检查：检查计量器具有否致命缺陷和和能否正常工作。

- 2) 计量特性的检定：按有关检定规程的检定方法进行。
- 3) 对检定结果的数据进行处理和分析：例如算出平均值，求出不确定度，给出修正值等，必要时画出误差曲线图进行分析。
- 4) 检定结果的处理：检定结果合格出具检定证书，不合格的出具不合格通知书。

## 六、检定记录

检定记录的内容包括：

- 1) 受检计量器具的名称、制造厂、型号、出厂编号以及额定特性和参数；
- 2) 检定条件；
- 3) 所用标准器具的名称、型号和编号；
- 4) 检定日期；
- 5) 检定过程中所进行的每一次独立计量的结果；
- 6) 检定结论；
- 7) 检定员和核验员签字；

## 七、计量检定中对器具合格的判断

### 1、判断标准器具的不确定度忽略条件

判断应按以下的原则来进行。

一般来说，测量结果的测量不确定度  $U_t$  至少包含标准器具的不确定度  $U_s$  和被检器具的不确定度  $U_x$ ，即：

$$U_t = \sqrt{U_s^2 + U_x^2} = U_x \sqrt{1 + (U_s / U_x)^2}$$

若  $U_s/U_x=1/3$ ,  $U_t=U_x\sqrt{1+(1/3)^2} \approx 1.054U_x$ ,  $U_s$  对测量结果的影响 $<0.06$ ;

若  $U_s/U_x=1/10$ ,  $U_t=U_x\sqrt{1+(1/10)^2} \approx 1.005U_x$ ,  $U_s$  对测量结果的影响 $<0.005$ 。

所以一般情况下可按  $1/3 \sim 1/10$  范围的比例选择计量标准，也可认为计量标准的扩展不确定或最大允许误差为被检计量器具最大允许误差为被检计量器具最大允许误差的  $1/3$  以下时，计量标准的不确定度对测量结果不确定度的影响可忽略不计。

### 2、根据被检器具的允许误差极限进行器具合格的判断

这里，假设标准器具引起的不确定度可以忽略不计。

如果被检器具的允许误差极限为  $\pm e$ , 则当器具的偏差  $\Delta X_{\max} \leq e$  时，便合格；当  $\Delta X_{\max} \geq e$  时，便不合格。

### 3、根据标准和被检器具的允许误差极限进行器具合格的判断

当标准器具的不确定度不能忽略时，判断复杂。

设标准和被检器具的允许误差极限分别为  $n$  和  $e$

当  $\Delta X_t < (e-n)$  时，则肯定合格；

当  $\Delta X_t > (e+n)$  时，则肯定不合格；

当  $(e-n) < \Delta X_t \leq (e+n)$  时，需进一步判断。

## 八、比对

在规定的条件下，对相同准确度等级的同类计量基准、计量标准或工作计量器具的值进行相互比较，称为比对。

比对往往是在缺少更高准确度计量标准的情况下，使用权计量结果趋向一致的一种物段。国家制定有计量检定规程的仪器，则必须进行检定而不能只进行比对。

比对时，必须通过传递标准作为媒介。

比对的方式通常有循环式、花瓣式和星式，如图 2 所示：

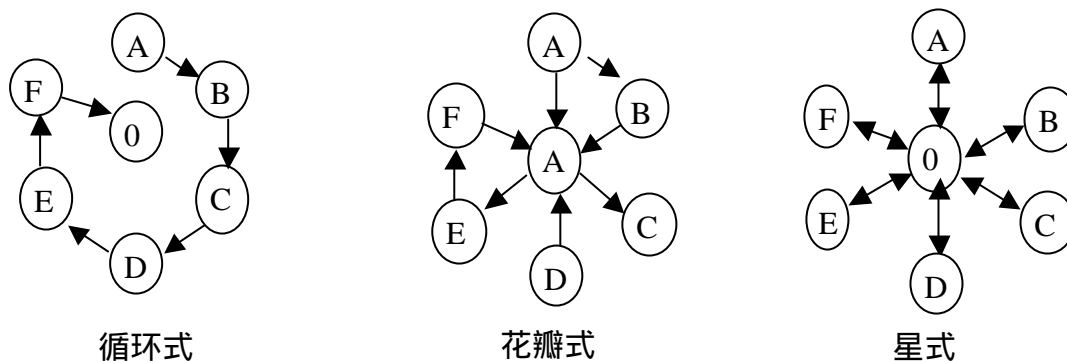


图 2、比对的方式图

图中心0为主持单位，ABCDEF 为参加单位，箭头表示比对标准的传递

ISO9000正在成为国际上广泛认可的一种模型，越来越多公司和工厂将他们的采购限定于通过ISO9000 认证的那些供货商。为了与国际接轨，我国也积极推行 ISO9000，企业的计量管理也要求满足质量管理和ISO9000要求。

## 一、ISO9000标准对仪器校验和管理的要求

ISO9001 (GB/T19001) 标准中 4.11 条检验、测量和试验设备的控制规定：

供方对其用以证实产品符合规定要求的检验、测量和试验设备（包括试验软件）应建立并保持控制、校准和维修的形成文件的程序。检验、测量和试验设备 使用时，应确保其测量不确定度已知，并与要求的测量能力一致。表6列出其规定。

表6 ISO9001 4.11 条关于设备的要求

ISO9001 4.11 条	标准所要求做的
(a) 校准设备的充分性	选择与测量相适应的设备
(b) 溯源文件	定期按照承认的标准进行校准
(c) 校准文件	使用有文件记录的过程
(d) 校准标准的充分性	确保设备的精度和准确度满足要求
(e) 校准状态	设备必须标明校准的状态
(f) 校准记录	设备必须标明校准的状态
(g) 超差报告	当设备超出校准期时能获得有效的测试结果
(h) 环境控制	必须满足环境条件
(i) 搬运和存储	恰当地进行搬运和存储
(j) 校准的安全性	必须使校准器有效地得到保护

归纳起来，ISO9001 (GB/T19001) 标准4.11 条主要对人员、环境设施、测量设备、校准和溯源、记录档案等五方面提出要求。

## 二、机构设置和人员配备

### 1、建立集中统一的计量机构

企业计量工作是生产、科研等活动的重要环节，它涉及到企业各个部门和各个方面，因此，需要有一个独立的计量机构来统一管理全企业的计理工作，它必须具有技术保证和监督管理的职能。

企业计量机构的技术保证职能是：保证计量数据的准确，为企业生产、管理和科研提供准确、可靠的计量数据。

企业计量机构的监督管理职能是：监督和管理本企业计量法规的贯彻执行情况。

### 2、企业计量管理系统

为什么要在企业建立计量管理系统？

首先，计量工作是企业生产和经常活动中一项不可缺少的技术基础，在企业的生产、经营及科研工作中都离不开计量工作。

其次，计量工作的特点，具有法制性、统一性、准确性、社会性，这就要求企业强化计量管理使计量工作完全处于受控制状态。

第三，计理工作的内容，随着生产、技术的不断发展而得到发展，突破了原有只搞量值传递的界限，扩展到企业活动的全过程，直接为生产，经营活动提供计量信息。

由于企业计量工作的性质、特点和内容决定了要搞好计量工作，除有一个集中统一的计量机构外，还必须建立一个完善的计量管理系统。

### 3、企业计量机构的设置原则和形式

企业要合理设置计量机构就要全面考虑以下几个方面原则：

- 1) 考虑生产的产品类型和发展方向；
- 2) 考虑生产的特点，包括工艺条件、装备、专业化及自动公程度等；
- 3) 考虑生产规模及在用测量设备的配务情况；
- 4) 考虑企业生产经营及物料进出厂和生产加工中的计量检测情况。

计量机构的形式，可以是专职的，也可以是合设的；可以是管理和技术合一的，也可以是外管理和技术分设的。

### 4、人员的配备

企业计量人员的范围包括：在计量机构内从事计量管理的人员，计量检定人员，计量器具维修人员，精密测试人员，计量标准、技术档案和资料保管人员，计量监督员等。

各企业可根据具体情况配备人员，不一定以上各类人员齐全，但从事计量管理（包括记录档案管理）的人员一定要配备。

企业计量人员都应受过相应工作所需的培训，具有培训记录。

## 三、环境设施

企业应有规章制度、环境设施来保证测量设备、试验设备等能正常使用并满足工作要求。例如温度、湿度、防尘、噪声、振动、电源、静电、电磁干扰等因素。如建立有校准实验室，其设施和环境条件应满足校准工作的要求。

## 四、测量设备

仪器设备的配备应满足企业产品测试的需要，制定议器设备一览表。

### 1、配备要齐全

测试设备的配备应包含企业产品测试所需各种类型。

### 2、仪器设备的指标应与工作所要求的不确定度相称

所用议器设备的准确度应能满足工作要求的不确定度，测量设备准确度双被测对象高3~10倍，不能用低准确度的议器测高准确度的被测件。

### 3、应配备一定量的备用仪器

为了以防万一，应配备一定量的备用仪器，避免因仪器损坏等因素而造成无法完成正常的产品测试。

仪器设备的合理配备可使企业以最小的投入，获得最大的产出。

### 4、仪器设备的分级管理

仪器设备的分级管理是根据仪器设备在生产、经营中的作用和国家对其管理的要求以及仪器设备本身的可靠性，对企业不同用途和不同类别的器具实行“保证重点，兼顾普遍，区别管理，全面监督”的管理方法，使企业所有的仪器设备都纳入科学管理的范围，以保证生产、科研和经营管理中使用的各种仪器设备的单位统一和量值准确。

仪器设备的分级管理指的是实施ABC三级管理。

A 类仪器设备是指计量保证器具、列入强制检定的工作计量器具等。对 A类器具应制订严格的管理办法和周检计划，检定要严格执行检定规程。

B 类仪器设备是指通用的、有准确度要求的仪器设备等。此类仪器设备的检定周期原则上不应超过检定规程规定的最长周期，如工作需要，对其可适当减少检定项目或只作部分检定。

C 类仪器设备是指国家规定进行一次性检定和国家暂无要求的仪器设备等。对此类仪器设备可在入库验收检定后投入使用，使用过程可进行功能检查。

#### 5、仪器设备的计划、造型与购置

根据设备的计划，结合本企业发展方向，规模和现有仪器的数量和质量状况，经过认真的经济、技术论证，制订出仪器设备的更新计划、长远规划、年度计划。

对确定的仪器设备，要认真进行选型选厂，然后派专人负责采购。

#### 6、仪器设备的验收、登记、建账、建卡

新购仪器设备入厂后，应由指定的专门人员及时开箱检验外观，按装箱清单点，并进行详细登记然后送到校验机构进行校验（验收）。

新购仪器设备经验收合格后，管理人员应按记录器具分类及统一编号规则进行编号，建账、建卡。

#### 7、仪器设备的使用、维护与维修

仪器设备的使用部门要注意经常保持仪器设备的完整清洁，放置合理，防止腐蚀，日光直射和振动。

在用仪器设备应有“合格”、“准用证”或相应标志，操作人员不得使用无证仪器设备。

使用人员应按照仪器设备的使用方法或操作规程正确地使用仪器设备，使用时如发现仪器设备异常与故障，应及时停止使用，送修理部门修理。修复后的仪器设备经校验合格后才能投入使用。

#### 8、仪器设备的闲置及报废

如果仪器设备连续停用一年以上则应列为闲置，闲置仪器设备必须退库保管，闲置的仪器设备可不列为周检范围，但至少每年通电一次，检查其工作情况。一旦需要使用，必须先进行校验。

仪器设备属下列情况可报废：折旧费已经提完，寿命已到，性能难以达到使用要求，无法修复的仪器设备；国家明令禁止、报废的仪器设备；设计不合理的仪器设备；由于各种事故致使严重损坏，无法修复的仪器设备。

### 五、校准和溯源

#### 1、所用测量设备应进行校准

企业产品测试所用设备应进行校准，以便所有量值都能溯源到国际基准—溯源性要求。在当今社会，全球一体化趋势越来越明显，各个国家生产的产品、零件可以统一组装、互换，这既是互换性和统一性的要求，又是质量控制的要求。

#### 2、校准的好处

##### ● 校准可以帮助建立产品生产的一致性

产品的生产通常是依据一组指标和规定的质量标准进行的。如果在生产过程中，所使用的仪器和工具不能达到它们的指标，生产过程就不能连续地保持正常的功能。所以为了保证这些仪器和工具可以按照规定的指标正常工作就必须对其进行定期的校准。

##### ● 校准可以保证生产是可靠的和可以接受的

如果产品的生产是用经过校准的仪器或工具来进行的，你就可以确信它们达到了所规定的指标。如果一个产品没能达到其指标，生产者就可确信它确实没有达到所期望的质量并将其废弃。如果用于生产的仪器没有经过校准，没有人能确信产品是否达到了它们的指标。

##### ● 校准可以保证工业生产过程的一致性

当使用同样的过程，并且当仪器用可以溯源至国家或国际的标准进行了校准后，该产品可以在世界的任何地方进行复制生产。



- 校准可以使生产厂商对生产的产品的一致性进行文件档案记录  
生产的产品以及用经过校准的仪器和工具进行的指标测试的检验都包括在一致性的文件中，它可用来证明产品是符合标准的，这个文件对用户做了保证而不需对到货的产品进行检测，从而使产品更具有竞争力。

3、校准的渠道

企业测量设备的校准一般分为两种方式：委托校验和建立企业标准。  
委托校验即是测量设备委托给有资格、有能力的讲师机构进行校验；建立企业标准即是企业自己建立校验实验室，建立仪器标准，按国家制定的校准实验室要求进行运作。  
建立内部的实验室是一个繁重的工作。在作出这种选择之前，应该对以下几个因素进行评估：

- 工作量  
有多少设备需要校？有多少不同类型的设备，每个设备需要多少次校准，每个校准工作需要多少时间（人工和仪器）？需要多少时间来处理计划外的校准和维修工作？
- 实验室的费用  
建立自己的实验室在经济上否合算？应考虑一次和重复的费用，例如：人员薪金、培训、管理和文件备案的费用。
- 实验室的开支  
包括购买校准设备，固定资产设备的贬值，维护与管理费用，工作负载等。  
两种校准方式的比较风表7。

表 7 两种方式优缺点比较

	委托校验	建立企业标准
人员	人员少，对人员要求不高	人员多，对人员有具体专业技术要求
投资，成本	不用购买标准，投资不大	投资大，需建实验室，购买标准仪器设备，维护成本高
质量	由专业人员进行，质量可以保证	质量相对较低
公正性	由第三方进行，具有公正性	自我校准，公正性不强
操作复杂性	简单	复杂，需按ISO/IEC导则25的要求和计量法规的规定来操作，包括建立标准实验室，检定员培训，仪器建标、考察，考核、授权、认证等
时限	需约定时间，部分仪器要送到委托机构实验室，实施周期较长	可以随时进行校准

4、周期校验和周期内的核查

由于测量仪器其状态和技术指标会随时间的推移而变化，为了保证测量的数据准确可靠，保证产品质量，周期校验是必须的。如不进行周期校验，很可能使用的测量设备超出允许误差而没有发现。  
如何进行周期校验呢？首先是制定好仪器设备周期校验计划，按国家标准和国家检定规程的规定仪器的种类、性能、使用条件等因素制定出校验周期，一般仪器设备的校验周期为一年，某些设备的校验周期是6个月甚至3个月。第二是自觉依据周期校验计划按时将仪器设备送校。第三是根据校验结果调整校验周期，以便在周期内仪器设备指标变化在可接受范围（调整后的周期不得长于国标和国家计量检定规程规定的周期）。  
周期内的核查也是非常重要的，其目的是为了保证仪器设备一直工作在正常状态，一旦出现偏离也能及时发现。  
核查的方法有多种，例如，在测量工作中观察有无异常数据和现象出现，用不同的测量仪器去测同一量（比对测量），用被核查的仪器测已知值的量（验证测量）等。

## 六、档案记录

ISO9000要求凡是已实施的工作都要有记录。档案记录工作是以企业仪器设备档案为对象的一系列具体业务工作，包括三方面的记录：人员培训记录、环境条件记录、设备档案记录（设备清单、技术说明书、校证书和报告、维修记录、操作规程、作业指导书等），其具体业务工作可包括记录档案的收集、整理、鉴定、保管、统计和利用等六项工作。

## 第八章 讲师法规

目前我国的计量工作主要分为三方面：

### 1. 法制计量

由法律、法规控制测量的若干领域的计量叫作法制计量，目前我国法制计量工作主要涉及贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测四个领域。

### 2. 工业计量

工业计量工作的重点是提高质量、降低消耗和增加效益。工业计量的一个趋势是，企业自是主溯源，只要能溯源到国家基准和国际基准。1999年国家质量技术监督局发布了关于企业自主溯源的1999年第6号公告，见后。

### 3. 科学计量

科学计量一方面属于国家需要的共性、基础和关键性技术，另一方面科学计量贯穿于产品的研究开发、规模生产、市场交换及售后服务的全过程，是支持技术。

# 关于企业使用的非强制检定计量器具 由企业依法自主管理的公告

（国家质量技术监督局 1999 年第 6 号）

为落实《国务院办公厅关于印发国家质量技术监督局职能配置、内设机构和人员编制规定通知》规定(国办发[1998]84号),国家质量技术监督局决定对企业使用的非强制检定计量器具的检定周期和检定对企业依法自方管理的有关事项,公告如下:

一、企业使用的非强制检定计量器具,是指除企业最高计量标准器具以及用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测方面的列入强制检定目录以外的其他计量标准器具和工作计量器具。非强制检定计量器具的检定周期,由企业根据计量器具的实际使用情况,本着科学、经济和量值准确的原则自行确定。

二、非强制检定计量器具的检定方式,由企业根据生产和科研的需要,可以自行决定在本单位检定或者送其他计量检定机构检定、测试,任何单位不得干涉。

三、企业使用的最高计量标准器具,以及用于贸易结算,安全防护、医疗卫生、环境监测方面列入强制检定目录的工作计量器具,应当进行强制检定。未按照规定申请检定或者检定不合格的,企业不得使用。

特此公告

国家质量技术监督局(印)

一九九九年三月十九日

有关的计量法规:

- 1、中华人民共和国计量法
- 2、中华人民共和国计量法实施细则
- 3、中华人民共和国强制检定的工作计量器具检定管理办法
- 4、中华人民共和国强制检定的工作计量器具目录

中华人民共和国计量法第七条：

国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府有关主管部门，根据本部门的特殊需要，可以建立本部门使用的计量标准器具，其各项最高计量标准器具经同级人民政府计量行政部门主持考核合格后使用。

中华人民共和国计量法第八条：

企业、事业单位根据需要，可以建立本单位使用的计量标准器具其各项最高计量标准器具经有关人民政府计量行政部门主持考核合格后使用。

中华人民共和国计量法第九条：

县级以上人民政府计量行政部门对社会公用计量标准器具，部门和企业、事业单位使用的最高计量标准器具，以及用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测方面的列入强制检定目录的工作计量器具，实行强制检定。未按照规定申请检定或检定不合格的，不得使用。实行强制检定的工作计量器具的目录和管理办法，由国务院制定。

对前款规定以外其他计量标准器具和工作计量器具，使用单位应当自行定期检定或者送其他计量检定机构检定，县级以上人民政府计量行政部门应当进行监督检查。

中华人民共和国计量法第十条：

计量检定必须按照国家计量检定系统表进行。国家计量检定规程由国务院计量行政部门制定。

计量检定必须执行计量检定规程。国家计量检定规程由国务院计量行政部门制定。没有国家计量检定规程的，由国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府计量行政部门分别制定部门计量检定规程和地方计量检定规程，并向国务院计量行政部门备案。

中华人民共和国计量法第十一条：

计量检定工作应当按照经济合理的原则，就地就近进行。

中华人民共和国计量法实施细则第七条：

计量标准器具的使用，必须具备下列条件：1.经计量检定合格；2.具有正常工作所需要的环境条件3.具有称职的保存、维护、使用人员；4.具有完善的管理制度。

中华人民共和国计量法实施细则第九条：

国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府有关主管部门建立的本部门各项最高计量标准，经同级人民政府计量行政部门考核，符合本细则第七条规定条件并取得考核合格证的，由有关主管部门批准使用。

中华人民共和国计量法实施细则第十三条：

计量检定工作应当按照经济合理的原则，不受行政区划和部门管辖的限制。