

DIANNENG JILIANG JIANDING YU GUANLI PEIXUN JIAOCAI

电能计量 检定与管理培训教材

李彦群 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍了电能计量检定与管理方面的知识。全书共6章,内容包括计量基础知识、计量法律法规、电工基础知识、电能表的检定、测量用互感器,以及电能计量标准的期间核查及量值比对。为便于学习和培训,每章后均附有练习题,书后还附有参考答案及智能电能表标准的摘录。

本书注重理论知识与实际操作相结合,深入浅出,通俗易懂,并提供了许多解决实际问题的思路和方法,对提高电力企业计量人员的技术水平、管理水平和业务水平有很大帮助。

本书适合电力企业电能计量、用电检查、用电营业、报装接电、电能表修校等技术人员进行岗位培训和技能考核使用,对于各类职业技术学院师生、相关行业技术人员也均有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电能计量检定与管理培训教材/李彦群主编. —北京:中国电力出版社, 2010.9

ISBN 978-7-5123-0744-5

I. ①电… II. ①李… III. ①电能—电量测量—技术培训—教材 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 158394 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www. cepp. com. cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010年10月第一版 2010年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16.5印张 370千字

印数 0001—3000册 定价 35.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

电能计量是电能能源管理中的一项重要工作，它的公平、公正、准确、可靠直接关系到供、用双方的利益，是社会广泛关注的焦点，具有广泛的社会性，同时依托坚强电网和现代管理理念，利用高级测量、高效控制、高速通信、快速储能等技术，实现市场响应迅速、计量公正准确、数据采集实时、收费方式多样、服务高效便捷，构建电网与客户能量流、信息流、业务流实时互动的新型供用电关系，即智能用电不断发展。新的计量技术不断涌现，新的计量器具层出不穷，为较好地指导电能计量人员进行实际工作，并为电能计量人员的岗位培训和考核提供培训的教材，编写了本书。

本书在编写过程中，从工作实际出发，运用了最新的计量技术和科研成果，介绍了最新的计量器具和计量方法，摘录了智能电能表系列标准的部分相关内容。为保证一定的前瞻性，本书在理论上作了一些探索，阐述了一些可能的计量方法。本书在编写过程中，还结合电能计量人员技能培训的特点，给出了大量习题，并配有参考答案，可供读者参考学习。

本书的作者多从事电能计量方面工作，经验丰富。全书由李彦群担任主编，刘晓莉担任副主编，白宇峰、王建龙、寇喆参加了编写工作。其中，第1章、第2章、第6章由李彦群编写，第3章、附录A由王建龙、白宇峰编写，第4章由刘晓莉编写，第5章由寇喆编写，在此谨致以诚挚的感谢。

限于经验和水平，加之时间仓促，不足之处恳请读者批评指正。

编 者

2010年7月于西安

前 言

第 1 章 计量基础知识	1
1.1 通用计量术语	1
1.2 法定计量单位与国际单位制	17
1.3 有效数字及数据舍入规则	23
1.4 测量不确定度	30
练习题	37
第 2 章 计量法律法规	45
2.1 法制计量与计量管理	45
2.2 计量法规体系	51
2.3 计量器具	53
2.4 计量检定	56
2.5 计量技术法规	59
2.6 计量检定机构	60
2.7 计量授权	62
2.8 计量检定人员	63
练习题	65
第 3 章 电工基础知识	73
3.1 直流电路	73
3.2 电磁基本知识	78
3.3 单相交流电路	81
3.4 三相交流电路	86
练习题	90
第 4 章 电能表的检定	99
4.1 电能表检定装置	99
4.2 感应式电能表的检定	107
4.3 电子式电能表的检定	121
4.4 电能表的现场检验	135
练习题	140

第 5 章 测量用互感器..... 150

5.1 测量用电流互感器 150

5.2 测量用电压互感器 163

5.3 测量用互感器现场检验 174

练习题..... 188

第 6 章 电能计量标准的期间核查及量值比对..... 196

6.1 电能计量标准的期间核查 196

6.2 量值比对及能力验证 200

附录 A 智能电能表标准摘录..... 205

附录 B 参考答案 240

参考文献..... 256

第 1 章

计量基础知识

1.1 通用计量术语

1.1.1 量和单位

本书名词术语方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。去掉方括号中的字即为名称的简称。

一、[可测量的] 量

【定义】现象、物体或物质可定性区别和定量确定的属性。

注：(1) 术语“量”可指一般意义的量或特定量。一般意义的量如长度、时间、质量、温度、电阻、物质的浓度；特定量如某根棒的长度、某根导线的电阻、某份酒样中乙醇的浓度。

(2) 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之为同类量，如功、热、能、厚度、周长、波长。

二、量制

【定义】彼此间存在确定关系的一组量。

三、基本量

【定义】在给定量制中约定地认为在函数关系上彼此独立的量。

例：在国际单位制所考虑的量制中，长度、质量、时间、热力学温度、电流、物质的量和发光强度为基本量。

四、导出量

【定义】在给定量制中由基本量的函数所定义的量。

例：在国际单位制所考虑的量制中，速度是导出量，定义为长度除以时间。

五、[测量] 单位、[计量] 单位

【定义】为定量表示同种量的大小而约定地定义和采用的特定量。

六、[测量] 单位符号、[计量] 单位符号

【定义】表示测量单位的约定符号。

例：(1) m 是米的符号；

(2) A 是安培的符号。

七、[测量] 单位制、[计量] 单位制

【定义】为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。

例：(1) 国际单位制；

(2) CGS 单位制。

八、一贯 [导出] [测量] 单位、一贯 [导出] [计量] 单位

【定义】可由比例因数为 1 的基本单位幂的乘积表示的导出测量单位。

例：在国际单位制中， $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ ，N（牛顿）就是力的一贯单位。

注：(1) 在国际单位制中，全部导出单位都是一贯单位，但其倍数和分数单位则不是一贯单位；

(2) 一贯性是对于给定的单位制而言的。一个单位对于某单位制是一贯的，对于另一单位制就可能不是一贯的。

九、一贯 [测量] 单位制、一贯 [计量] 单位制

【定义】全部导出单位均为一贯单位的测量单位制。

例：下列单位（用符号表示）为国际单位制中力学一贯单位的一部分： m ； kg ； s ； m^2 ； m^3 ； $\text{Hz}=\text{s}^{-1}$ ； m/s ； m/s^2 ； kg/m^3 ； $\text{N}=\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ ； $\text{Pa}=\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$ ； $\text{J}=\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$ ； $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3$ 。

十、国际单位制 (SI)

【定义】由国际计量大会（CGPM）采纳和推荐的一种一贯单位制。

注：(1) SI 是国际单位制的国际通用符号；

(2) 目前国际单位制有表 1-1 所列 7 个基本单位。

表 1-1 国际单位制基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	热力学温度	开 [尔文]	K
质量	千克 (公斤)	kg	物质的量	摩 [尔]	mol
时间	秒	s	发光强度	坎 [德拉]	cd
电流	安 [培]	A			

注 1. 圆括号中的名称，是它前面的名称的同义词。下同。

2. 无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。去掉方括号中的字即为名称的简称。下同。

十一、基本 [测量] 单位、基本 [计量] 单位

【定义】给定量制中基本量的测量单位。

注：在给定的一贯单位制中，每个基本量只有一个基本单位。

十二、导出 [测量] 单位、导出 [计量] 单位

【定义】给定量制中导出量的测量单位。

注：在国际单位制中，有些导出单位具有专门名称和符号，如力的单位名称为牛顿，符号为 N；能量的单位名称为焦耳，符号为 J；压力的单位名称为帕斯卡，符号为 Pa。

十三、制外 [测量] 单位、制外 [计量] 单位

【定义】不属于给定单位制的测量单位。

例：(1) 电子伏（符号为 eV， $1\text{eV}\approx 1.602\,18\times 10^{-19}\text{J}$ ）为能的国际单位制外单位；
(2) 日、时、分为时间的国际单位制外单位。

十四、倍数〔测量〕单位、倍数〔计量〕单位

【定义】按约定的比率，由给定单位构成的更大的测量单位。

例：(1) 千米（公里）是米的十进制倍数单位之一；
(2) 小时是秒的非十进制倍数单位之一。

十五、分数〔测量〕单位、分数〔计量〕单位

【定义】按约定的比率，由给定单位构成的更小的测量单位。

例：毫米是米的十进制分数单位之一。

注：分数单位是约定比率小于1的倍数单位。

十六、量值

【定义】一般由一个数乘以测量单位所表示的特定量的大小。

例：5.34m 或 534cm，15kg，10s， -40°C 。

注：对于不能由一个数乘以测量单位所表示的量，可以参照约定参考标尺，或参照测量程序，或两者都参照的方式表示。

十七、〔量的〕真值

【定义】与给定的特定量的定义一致的值。

注：(1) 量的真值只有通过完善的测量才有可能获得；

(2) 真值按其本性是不确定的；

(3) 与给定的特定量定义一致的值不一定只有一个。

真值是一个理想化的概念，从量子效应和测不准原理来看，其值按其本性是不能被最终确定的。另外，自然界任何物体都处在永恒的运动中，一个量在一定时间和空间都会发生变化，从而具有不同的真值。真值是指在瞬间条件下的值，实际上真值常常是未知的，但这并不排除对特定量的真值可以不断地逼近。特别是对于给定的实用目的，所需要的量值总是允许有一定的误差范围或不确定度。因此，总是有可能通过不断改进特定量的定义、测量方法和测量条件等，使获得的量值足够地逼近真值，满足实际使用该量值时的需要。

十八、〔量的〕约定真值

【定义】对于给定目的具有适当不确定度的、赋予特定量的值，有时该值是约定采用的。

注：(1) 约定真值有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值；

(2) 常常用某量的多次测量结果来确定约定真值。

实际上对于给定目的，并不需要获得特定量的真值，而只需要与该真值足够接近的，即其不确定度满足需要的值。特定量的这样的值就是约定真值，对于给定的目的可用它来代替真值。

十九、〔量的〕数值

【定义】在量值表示中与单位相乘的数。

1.1.2 测量结果

一、测量结果

【定义】由测量所得到的赋予被测量的值。

在给出测量结果时，应说明它是示值、未修正测量结果或已修正测量结果，还应表明它是否为几个值的平均。在测量结果的完整表述中应包括测量不确定度，必要时还应说明有关影响量的取值范围。

确切地说，测量结果是由测量所得到的属于被测量或认做被测量的值。使用这一术语时，应说明它是示值、未修正测量结果或已修正测量结果，还应表明它是否为几个值的平均，也即它是由单次观测所得还是由多次观测所得。若是单次观测所得，则观测值就是测量结果。若是对同一量的多次观测，则其算术平均值才是测量结果。在很多精密测量的情况下，测量结果是重复观测确定的。

若采用的是间接测量法或定义测量法，则对测得值须借助已知的函数关系或量的单位定义，才能得到测量结果。测量结果只是被测量值的近似或估计值，因此，在测量结果的完整表示中，应包括或附有测量不确定度，必要时还应说明测量所处的条件，或影响量的取值范围。

测量结果表示的有效位数通常保留到与扩展不确定度的有效位相同，或者说，当不确定度与测量结果采用相同单位时，其末位对齐。

二、测量仪器的示值

【定义】测量仪器所给出的量的值。

由显示器读出的值可称为直接示值，将它乘以仪器常数即为示值。这个量可以是被测量、测量信号或用于计算被测量之值的其他量。对于实物量具，示值就是它所标出的值。这里是指在读数瞬间由测量仪器的指示装置所提供（给出）的以被测量单位表示的被测量值。如果指示装置标尺上标注的单位不是被测量单位，则直接读取的量值称为标尺值或直接示值，需乘以仪器常数后才算是测量仪器的示值。

示值的概念既适用于测量仪器，也适用于实物量具。对于带指示装置的量具，其给出值的方式与测量仪器相似，如可变电容器、信号发生器等；对于无指示位置的量具，如量块、砝码、标准电阻器等，其标出的值或标称值就是示值。总之，这个示值可以是被测量值、测量信号的值或用于计算被测量值的其他量值。显然，示值有时就是测量结果。

测量仪器的示值是经常用到的重要概念之一。校准或检定测量仪器时，主要的工作就是给仪器赋值或确定它们的示值误差；使用测量仪器时，主要关心的也是其示值误差对测量结果的影响。

三、未修正结果

【定义】系统误差修正前的测量结果，即对测量结果中所包含的系统误差尚未进行修正时的测量结果。

当由测量仪器获得的只是单个示值时，该示值通常是未修正结果；当获得多个示值时，未修正结果通常由这些示值的算术平均值求得。

四、已修正结果

【定义】系统误差修正后的测量结果，即对测量结果中所包含的系统误差进行修正后的测量结果。

系统误差中已识别的系统误差，其大小与符号均为已知，从而可以按修正值进行修正。实际上，测量结果中的系统误差不能完全获知，也不可能准确掌握，因而修正值本身仍然含有不确定度。

五、测量准确度

【定义】测量结果与被测量真值之间的一致程度。

应注意不要用术语“精密度”代替“准确度”，准确度是一个定性概念。

上述定义中的“一致程度”不是定量的，而是定性的。关于准确度是一个定性概念的问题，可以从以下三方面理解。首先，被测量真值其实就是被测量本身，而与给定的特定量定义一致的所谓真值仅是一个理想化的难以操作的概念，因此不可能准确而定量地给出准确度的值。其次，传统的误差理论认为准确度是系统误差与随机误差的综合，而对它们的合成方法国际上一直没有统一。最后，习惯上所说的准确度其实表示的是不准确的程度，但人们又不愿意用贬义的称谓，而宁可用褒义的称谓，因此在表示准确度高时，准确度的值却更小。

作为历史形成的习惯用语，国际标准化组织等七个国际组织在1993年规定，沿用的准确度只是测量结果与被测量真值之间的一致程度或接近程度，只是一个定性概念，不宜将其定量化。例如：可以定性地说“这个研究项目对测量准确度要求很高”，“测量准确度应满足使用要求或某技术规范、标准的要求”等。换言之，可以说准确度高低、准确度为0.25级、准确度为3等或准确度符合 $\times\times$ 标准，而尽量不要说准确度为0.25%、16mg或 $\pm 16\text{mg}$ 。也就是说，准确度不宜与数字直接相连。若需要用数字表示，则可用不确定度。例如：可以说“测量结果的扩展不确定度为2mA”，而不宜说“准确度为2mA”。

有些测量仪器说明书或技术规范中规定的准确度，其实是仪器的最大允许误差或允许误差极限，不应与本定义的测量准确度术语相混淆。测量仪器的准确度等级，是指它符合一定的计量要求，使示值误差处于规定极限之内的等别或级别。应注意不要用术语“精密度”来表示“准确度”，因为前者仅反映分散性，不能替代后者。精密度的传统定义是：在规定条件下获得的各个独立观测值之间的一致程度。所以，精密度仅指由于随机效应使测量结果不能完全重复或复现，而准确度则是指由于随机和系统的综合效应使测量结果与真值不一致。实际上，精密度也是一个定性概念，不宜用做定量估计的术语。因为在重复测量条件下的精密度，可以用测量结果的重复性来定量表示；而在复现测量条件下的精密度，则用测量结果的复现性来定量表示。例如：可以说“测量结果的重复性为2mg”或“重复性标准[偏]差为2mg”，而不宜说“精密度为2mg”。

六、[测量结果的] 重复性

【定义】在相同测量条件下对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性。

这些条件称为重复性条件，包括：相同的测量程序、相同的观测者、在相同的条件下使用相同的测量仪器、相同地点、在短时间内重复测量。重复性可以用测量结果的分散性

定量地表示。

上述定义中的“一致性”是定量的，可以用重复性条件下对同一量进行多次测量所得结果的分散性来表示。表示测量结果分散性的量，最为常用的是实验标准〔偏〕差。在重复性条件下按贝塞尔公式算得的实验标准〔偏〕差称为“重复性标准差”。

重复性条件包括定义中所列的五个内容。这里的“短时间”可理解为：保证前四个条件相同或保持不变的时间段，它主要取决于人员的素质、仪器的性能以及对各种影响量的监控。从数理统计和数据处理的角度来看，在这段时间内测量应处于统计控制状态，即符合统计规律的随机状态。通俗地说，它是测量处于正常状态的时间间隔。重复观测中的变动性，正是由于各种影响量不能完全保持恒定而引起的。重复性标准差有时也称为组内标准差。

七、〔测量结果的〕复现性

【定义】在改变了的测量条件下，同一被测量的测量结果之间的一致性。

在给出复现性时，应有效地说明改变条件的详细情况。改变条件包括：测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考测量标准、地点、使用条件、时间。复现性可以用测量结果的分散性定量地表示，测量结果在这里通常理解为已修正结果。

上述定义的“一致性”是定量的，可以在复现性条件下对同一量进行重复测量所得结果的分散性来表示。这个表示测量结果分散性的量，通常按贝塞尔公式算得，称为“复现性标准差”。

八、实验标准〔偏〕差

【定义】对同一被测量做 n 次测量，表征测量结果分散性的量 s 可按下式算出

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-1)$$

式中 x_i ——第 i 次测量的结果；

$\bar{x}$ ——所考虑的 n 次测量结果的算术平均值。

注：(1) 当将 n 个值视做分布的取样时， $\bar{x}$ 为该分布的期望的无偏差估计， s^2 为该分布的方差 σ^2 的无偏差估计；

(2) $\frac{s}{\sqrt{n}}$ 为 $\bar{x}$ 分布的标准偏差的估计，称为平均值的实验标准偏差；

(3) 将平均值的实验标准偏差称为平均值的标准误差是不正确的。

通常用 $s(x)$ 表征测量仪器的重复性，而用 $s(\bar{x})$ 评价以此仪器进行多次测量所得测量结果的分散性。随着测量次数 n 的增加，测量结果的分散性 $s(\bar{x})$ 即与 $\sqrt{n}$ 成反比地减小，这是由于对多次观测值取平均后，正、负误差相互抵偿所致。所以，当测量要求较高或希望测量结果的标准〔偏〕差较小时，应适当增加 n ，但是 $n > 20$ 时，随着 n 的增加， $s(\bar{x})$ 的减小速率减慢。因此，在选取 n 时应予综合考虑或权衡利弊，因为增加测量次数就会拉长测量时间、加大测量成本。通常情况下，取 $n \geq 3$ ，以 $n = 4 \sim 20$ 为宜。

九、测量不确定度

【定义】表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相联系的参数。

该参数可以是标准偏差或其倍数，或说明了置信水准的区间的半宽度。测量不确定度由多个分量组成，其中一些分量可用测量列结果的统计分布估算，并用实验标准偏差表征，另一些分量可用基于经验或其他信息的假定概率分布估算，也可用标准偏差表征。测量结果应理解为被测量之值的最佳估计，而所有的不确定度分量均贡献给了分散性，包括那些由系统效应引起的分量。

该定义中的“合理”，意指应考虑到各种因素对测量的影响所做的修正，特别是测量应处于统计控制的状态下，即处于随机控制过程中。也就是说，测量是在重复性条件或复现性条件下进行的，此时对同一被测量做多次测量，所得测量结果的分散性可按贝塞尔公式算出，并用重复性标准[偏]差或复现性标准偏差表示。

定义中的“相联系”，意指测量不确定度是一个与测量结果“在一起”的参数，在测量结果的完整表示中应包括测量不确定度。

测量不确定度从词义上可理解为对测量结果可信性、有效性的怀疑程度或不肯定程度，是定量说明测量结果的质量的一个参数。实际上，由于测量不完善和人们的认识不足，所得的被测量值具有分散性，即每次测得的结果不是同一值，而是以一定的概率分散在某个区域内的许多个值。虽然客观存在的系统误差是一个不变值，但由于我们不能完全认知或掌握，只能认为它是以某种概率分布存在于某个区域内，而这种概率分布本身也具有分散性，测量不确定度就是说明被测量之值分散性的参数，它不说明测量结果是否接近真值。

为了表征这种分散性，测量不确定度用标准偏差表示。在实际使用中，往往希望知道测量结果的置信区间。因此，测量不确定度也可用标准偏差的倍数或说明了置信水准的区间的半宽度表示。为了区分这两种不同的表示方法，分别称它们为标准不确定度和扩展不确定度。

在实践中，测量不确定度可能来源于以下方面：

- (1) 对被测量的定义不完整或不完善；
- (2) 实现被测量的定义的方法不理想；
- (3) 取样的代表性不够，即被测量的样本不能代表所定义的被测量；
- (4) 对测量过程受环境影响的认识不周全，或对环境条件的测量与控制不完善；
- (5) 对模拟仪器的读数存在人为偏移；
- (6) 测量仪器的分辨力或鉴别力不够；
- (7) 赋予计量标准的值和参考物质（标准物质）的值不准；
- (8) 引用于数据计算的常量和参量不准；
- (9) 测量方法和测量程序的近似性和假定性；
- (10) 在表面上看来完全相同的条件下，被测量重复观测值的变化。

由此可见，测量不确定度一般来源于随机性和模糊性，前者归因于条件不充分，后者归因于事物本身概念不明确。这就使得测量不确定度一般由许多分量组成，其中一些分量可以用测量列结果（观测值）的统计分布来估算，并且以实验标准偏差表征；而另一些分量可以用其他方法（根据经验或其他信息的假定概率分布）来估算，并且也以标准偏差表

征。所有这些分量应理解为都贡献给了分散性。若需要表示某分量是由某原因导致时，可以用随机效应导致的不确定度和系统效应导致的不确定度，而不要用“随机不确定度”和“系统不确定度”这两个术语。

不确定度当由方差得出时，取其正平方根。当分散性的大小用说明了置信水准的区间的半宽度表示时，作为区间的半宽度取负值显然也是毫无意义的。当不确定度除以测量结果时，称之为相对不确定度，这是个无量纲量，通常以百分数或 10 的负数幂表示。

十、标准不确定度

【定义】以标准偏差表示的测量不确定度。

它不是由测量标准引起的不确定度，而是指不确定度以标准偏差表示，来表征被测量之值的分散性。由于测量结果的不确定度往往是由许多原因引起的，对每个不确定度来源评定的标准偏差称为标准不确定度分量。这些标准不确定度分量有两种评定方法，即 A 类评定和 B 类评定。

十一、不确定度的 A 类评定

即用对观测列进行统计分析的方法，来评定标准不确定度。这是通过统计分析观测列的方法，对标准不确定度进行的评定，所得到的相应的标准不确定度称为 A 类不确定度分量。

十二、不确定度的 B 类评定

即用不同于对观测列进行统计分析的方法，来评定标准不确定度。这是用不同于对测量样本统计分析的其他方法，进行的标准不确定度的评定，所得到的相应的标准不确定度称为 B 类标准不确定度分量。

A 类标准不确定度与 B 类标准不确定度仅仅是评定方法不同，并不表明不确定度的性质不同。对某一项不确定度分量既可用 A 类方法评定，也可用 B 类方法评定。应由测量人员根据具体情况选择。特别应当指出的是，“A 类”、“B 类”与“随机”、“系统”，在性质上并无对应关系。

十三、合成标准不确定度

【定义】当测量结果是由若干个其他量的值求得时，按其他各量的方差和协方差算得的标准不确定度。

合成标准不确定度是测量结果标准偏差的估计值。

十四、扩展不确定度

确定测量结果区间的量，合理赋予被测量之值分布的大部分可望含于此区间。实际上扩展不确定度是由合成标准不确定度的倍数表示的测量不确定度。扩展不确定度是测量结果的取值区间的半宽度，可期望该区间包含了被测量之值分布的大部分。

十五、包含因子

【定义】为求得扩展不确定度，对合成标准不确定度所乘的数字因子。

包含因子等于扩展不确定度与合成标准不确定度之比。其取值决定了扩展不确定度的置信水平。

十六、测量误差

【定义】测量结果减去被测量的真值。

由于真值不能确定，因此实际上用的是约定真值。

不要把误差与不确定度混为一谈。测量不确定度表明赋予被测量之值的分散性，它与人们对被测量的认识程度有关，是通过分析和评定得到的一个区间。测量误差则是表明测量结果偏离真值的差值，它客观存在但人们无法准确得到。例如，测量结果可能非常接近于真值，但由于认识不足，人们赋予的值却落在一个较大区间内（即测量不确定度较大），也可能实际上测量误差较大，但由于分析估计不足，使给出的不确定度偏小。

十七、相对误差

【定义】测量误差除以被测量的真值。

注：（1）由于真值不能确定，实际上用的是约定真值。

（2）当被测量的大小相近时，通常用绝对误差进行测量水平的比较。当被测量值相差较大时，用相对误差才能进行有效的比较。

（3）绝对误差与被测量的量纲相同，而相对误差是量纲为1的量或无量纲量。

十八、随机误差

【定义】测量结果与在重复性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。

注：（1）随机误差等于误差减去系统误差。

（2）因为测量只能进行有限次数，故可能确定的只是随机误差的估计值。

随机误差大抵来源于影响量的变化。这种变化在时间上和空间上是不可预知的或随机的。它会引起被测量重复观测值的变化，故称之为“随机效应”。可以认为正是这种随机效应导致了重复观测中的分散性，我们用统计方法得到的实验标准[偏]差是分散性的。确切地说是来源于测量过程中的随机效应，而并非来源于测量结果中的随机误差分量。

十九、系统误差

【定义】在重复性条件下，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。

由于只能进行有限次数的重复测量，真值也只能用约定真值代替，因此如真值一样，系统误差及其原因不能完全获知可能确定的系统误差，只是其估计值，并具有一定的不确定度。这个不确定度也就是修正值的不确定度，它与其他来源的不确定度分量一样贡献给了合成标准不确定度。

系统误差大抵来源于影响量。它对测量结果的影响若已识别并可定量表述，则称之为“系统效应”。该效应的大小若是显著的，则可通过估计的修正值予以补偿。

至于误差限、最大允许误差、可能误差、引用误差等术语，它们前面带有正负（±）号，因而是一种可能误差的分散区间，并不是某个测量结果的误差。对于测量仪器而言，其示值的系统误差称为测量仪器的“偏移”，通常用适当次数重复测量示值误差的均值来估计。

二十、修正值

【定义】用代数方法与未修正测量结果相加，以补偿其系统误差的值。

注：（1）修正值等于负的系统误差。

(2) 由于系统误差不能完全获知，因此这种补偿并不完全。

含有误差的测量结果加上修正值后就可能补偿或减少误差的影响。由于系统误差不能完全获知，因此这种补偿并不完全。修正值等于负的系统误差，这就是说加上某个修正值，就像扣掉某个系统误差，其效果是一样的，只是人们考虑问题的出发点不同而已，即真值=测量结果+修正值=测量结果-误差。

在量值溯源和量值传递中，常常采用这种加修正值的直观的方法。用高一个等级的计量标准来校准或检定测量仪器，其主要内容之一就是要获得准确的修正值。换言之，系统误差可以用适当的修正值来估计并予以补偿。但应强调指出：由于系统误差不能完全获知，这种补偿是不完全的，因此修正值本身就含有不确定度。当测量结果以代数和方式与修正值相加之后，其系统误差之模会比修正前的要小，但不可能为零，也即修正值只能对系统误差进行有限程度的补偿。

二十一、修正因子

【定义】为补偿系统误差而与未修正测量结果相乘的数字因子。

含有系统误差的测量结果乘以修正因数后就可以补偿或减少误差的影响。由于系统误差并不能完全获知，因而这种补偿是不完全的，因此修正因数本身仍含有不确定度。通过修正因子或修正值已进行了修正的测量结果，即使具有较大的不确定度，但可能仍然十分接近被测量的真值。因此，不应把测量不确定度与已修正测量结果的误差相混淆。

1.1.3 测量仪器

一、测量仪器

【定义】单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具。

二、实物量具

【定义】使用时以固定形态复现或提供给定量的一个或多个已知值的器具。

例：砝码、(单值或多值、带或不带标尺的)量器、标准电阻、量块、标准信号发生器、参考物质。

三、测量传感器

【定义】提供与输入量有确定关系的输出量的器件。

例：热电偶、电流互感器、应变计、pH 电极。

四、测量链

【定义】测量仪器或测量系统的系列单元，由它们构成测量信号从输入到输出的通道。

例：由传声器、衰减器、滤波器、放大器和电压表组成的电声测量链。

五、测量系统

【定义】组装起来以进行特定测量的全套测量仪器和其他设备。

例：测量半导体材料电导率的装置及校准体温计的装置。

六、测量设备

【定义】测量仪器、测量标准、参考物质、辅助设备以及进行测量所必需的资料的总称。

七、指示式〔测量〕仪器

【定义】显示示值的测量仪器。

例：模拟电压表、数字频率计、千分尺。

注：(1) 显示可以是模拟的（连续或非连续）或数字的。

(2) 多个量值可以同时显示。

(3) 显示式测量仪器也可提供记录。

八、累计式〔测量〕仪器

【定义】通过对来自一个或多个源中，同时或依次得到的被测量的部分值求和，以确定被测量值的测量仪器。

例：累计式轨道衡、总加式电功率表。

九、积分式〔测量〕仪器

【定义】通过一个量对另一个量积分，以确定被测量值的测量仪器。

例：电能表。

十、模拟式测量仪器、模拟式指示仪器

【定义】指供数字化输出或显示的测量仪器。

注：此术语只涉及输出或显示的表示形式，而与仪器的工作原理无关。

1.1.4 测量仪器的特性

一、标称范围、量程和测量范围

测量仪器的操纵器件调到特定位置时可得到的示值范围，称为标称范围。此时的示值范围是与测量仪器的整体相联系的，是指标尺所指示的被测量值可得到的范围。标称范围通常以被测量的单位表示，而不管标尺上所标的单位是什么。标称范围一般用上限和下限说明，当下限（即最小值）为零时，标称范围一般只用其上限（即最大值）来表示。

标称范围的上限与下限之差的绝对值，称为量程。

测量范围，也称为工作范围，是指测量仪器的误差处于规定的极限范围内的被测量的示值范围。在这一规定的测量范围内使用，测量仪器的示值误差必处在允许极限内；而若超出测量范围使用，示值误差就将超出允许极限。换言之，测量范围就是在正常工作条件下，能确保测量仪器规定准确度的被测量值的范围。

有些测量仪器的测量范围与其标称范围相同，例如体温计、电流表等。而有的测量仪器处在下限时的相对误差会急剧增大，例如地秤，这时应规定一个能确保其示值误差处在规定极限内的示值范围作为测量范围。可见，测量范围总是等于或小于标称范围。

应注意正确区别和掌握示值范围、标称范围、测量范围和量程的概念。示值范围是指测量仪器标尺或显示装置所能指示的范围，可用标在标尺或显示器上的单位表示；标称范围是对测量仪器整体而言的，通常用被测量的单位表示；测量范围是指能保证规定准确度，使误差处于规定极限内的量值范围；量程则是指标称范围上、下限之差的绝对值。

例如：某温度计的标称范围为 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，则其量程为 100°C 。

二、额定操作条件、极限条件和参考条件

额定操作条件是指测量仪器的正常工作条件，也就是使测量仪器的规定计量特性处于

给定极限内的使用条件。这些条件一般包括被测量和影响量的范围或额定值，只有在规定的范围或额定值下使用，测量仪器才能达到规定的计量特性或规定的示值允许误差值。例如：工作压力表测量范围的上限为 10MPa，则压力的最大值只能加到 10MPa。在使用测量仪器时，额定操作条件十分重要，只有满足这些条件，才能保证测量结果的准确性和可靠性。

测量仪器的规定计量特性不受损也不降低，其后仍可在额定操作条件下运行所能承受的极端条件，称为极限条件。极限条件应规定被测量和影响量的极限值。

参考条件是指测量仪器在性能试验或进行检定、校准、比对时的使用条件，即标准工作条件，或称为标准条件。这些条件一般应对作用于测量仪器的影响量的参考值或参考范围做出明确规定，以真正反映测量仪器的计量性能和保证测量结果的可靠性。

应注意正确区别和掌握额定操作条件、极限条件和参考条件。操作条件是测量仪器正常使用的条件；参考条件是为确定测量仪器本身计量性能所规定的标准条件；极限条件则是仪器不受损坏和不降低准确度所允许的极端条件。其中参考条件的要求最严，额定操作条件则较宽，而极端条件的范围和额定值为最大。

三、示值误差和最大允许误差

示值就是测量仪器所指示的被测量值。测量仪器的示值误差是测量仪器示值与对应的输入量的真值之差，它是测量仪器最主要的计量特性之一，本质上反映了测量仪器准确度的大小，即测量仪器给出接近于真值的响应的能力。示值误差大，则其准确度低；示值误差小，则其准确度高。示值误差是相对真值而言的，由于真值不能确定，实际上使用的是约定真值或实际值。为确定测量仪器的示值误差，当接受高等级的测量标准对其进行检定或校准时，该测量标准器复现的量值即为约定真值，通常称为实际值、校准值或标准值。所以，指示式测量仪器的示值误差 = 示值 - 实际值，实物量具的示值误差 = 标称值 - 实际值。

测量仪器示值误差通常简称为测量仪器的误差，可用绝对误差形式表示，也可用相对误差形式表示。确定测量仪器示值误差的大小，是为了判定测量仪器是否合格，并获得其示值的修正值。

对给定的测量仪器，规范、规程等所允许的误差极限值，称为测量仪器的最大允许误差，通常可简写为 MPE。有时也称为测量仪器的允许误差限。

示值误差和最大允许误差均是对测量仪器本身而言的。最大允许误差是指技术规范（例如标准、检定规程、校准规范）所规定的允许的误差极限值，它是一个判定测量仪器合格与否的规定的要求；而示值误差则是指测量仪器某一示值的误差的实际大小，它是通过检定、校准所得到的一个值或一组值，用以评价测量仪器是否满足最大允许误差的要求，从而判断其是否合格，或者根据实际需要提供修正值，以提高测量结果的准确度。

四、测量仪器的准确度

测量仪器的准确度是指测量仪器给出接近于真值的响应的能力，也就是指测量仪器给出的示值接近于真值的能力，即测量仪器由于仪器本身所造成的其输出的被测量值接近被测量真值的能力。由于各种测量误差的存在，通常任何测量是不可能完善的，所以实际上