

吉祥

计量基础知识



第一章 计量概述



第一节 计量的概念

一、概念

1.量:现象、物体或物质可定性区别与定量确认的一种属性。

2.测量:是以确定量值为目的的一组操作。

3.计量:是实现单位统一、保障量值准确可靠的活动,它包括科学技术上的、法律法规上的和行政管理上的一系列活动。



4.计量学：是关于测量的科学，它涵盖有关测量的理论和实践的各个方面，在计量学中，测量既是核心概念，又是研究对象。

计量与测量的关系：

----测量不具备、也不必具备计量所有的特点，即准确性、一致性、溯源性及法制性。计量即属于测量而又严于一般的测量。

----计量是与测量结果置信度有关的、与不确定度联系在一起的规范化的测量。



二、计量的内容

- ◆计量单位与单位制；
- ◆计量器具（或测量仪器）；
- ◆量值传递与溯源；
- ◆物理常量、材料与物质特性的测定；
- ◆测量不确定度、数据处理与测量理论及其方法；
- ◆计量管理。





三、计量的分类

1.按综合性质分类

----科学计量

指基础性、探索性、先行性的计量科学研究，通常用最新的科技成果来精确地定义与实现计量单位，并为最新的科技发展提供可靠的测量基础。

----工程计量

指各种工程、工业、企业中的实用计量，涉及对计量，又称工业计量。

----法制计量

与法定计量机构工作有关的计量，涉及对计量单位、测量仪器、测量方法及测量实验室的法定要求。



2.按测量对象分类

◆几何量

◆温度

◆力学

◆电磁

◆无线电

◆时间频率

◆光学

◆电离辐射

◆声学

◆化学

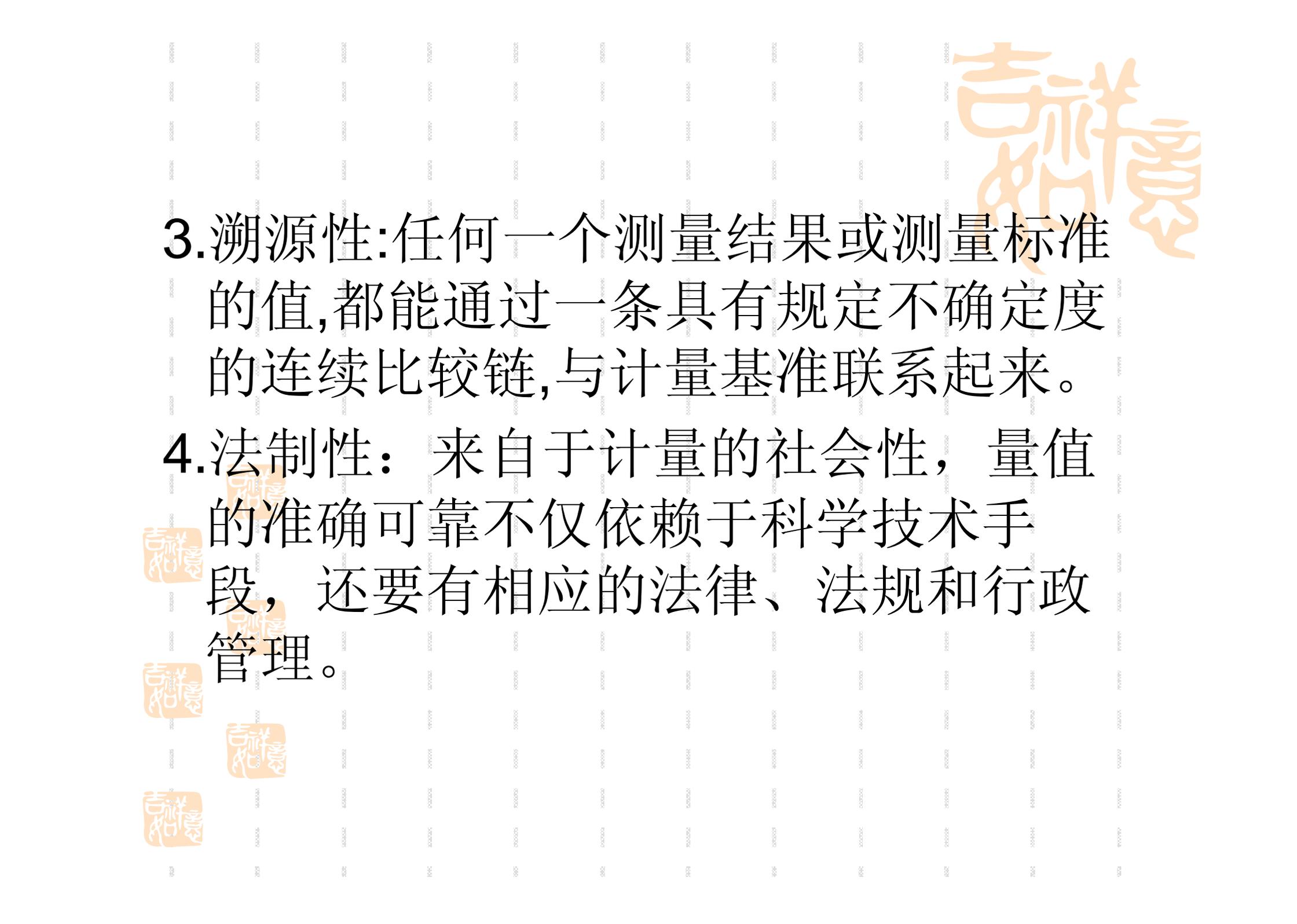
吉
祥
禮



四、计量的特点

1.准确性:指测量结果与被测真值的一致程度.

2.一致性:在统一单位的基础上,无论在何时何地采用何种方法、使用何种测量仪器,以及由何人测量,只要符合有关的要求,其测量结果就应在给定的区间内有一致性。测量结果应是可重复、可再现(复现)、可比较的。



3.溯源性:任何一个测量结果或测量标准的值,都能通过一条具有规定不确定度的连续比较链,与计量基准联系起来。

4.法制性:来自于计量的社会性,量值的准确可靠不仅依赖于科学技术手段,还要有相应的法律、法规和行政管理。

五、计量管理的概念和特征

1. 计量管理的概念

----计量管理是指计量部门对所用测量手段和方法，以及数据获得、表示和使用测量条件进行的管理。[国际法制计量组织（OIML）《法制计量学基本名词》的定义]

----为在国民经济各领域中提供计量保证所开展的各项管理工作。[JJG-1001《通用计量名词及定义》的定义]

----根据国家法规由指定的机构提供计量保证的工作体系。它通过计量器具控制、计量监督和计量评审予以实施。[JJF1001-1998《通用计量术语及定义》计量控制的定义]

----计量器具控制：确定计量器具的性能，并签发关于该计量器具法定地位地官方文件。这种控制可包括对该计量器具地下列动作的一项、两项或三项：

◆型式批准

◆检定

◆检验

----计量监督：为核查计量器具是否依照法律、法规正确使用和诚实使用，而对计量器具制造、安装、修理或使用进行控制的程序。

----计量评审：为了检查和谁的目的而进行的全部动作。例如，为了在法庭上对计量器具的状态作证，或为了按有关法定要求来确定计量器具的计量性能。



2. 计量管理的特征:

与计量学的特征相一致; 大致有:

- ◆统一性;
- ◆准确性;
- ◆法制性;
- ◆社会性;
- ◆权威性;
- ◆技术性;
- ◆服务性;
- ◆群众性;





第二节 计量器具及特性

一、概念

1.测量仪器:单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具, 又称计量器具。

----实物量具: 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测量器具。

----测量仪器: 其示值为等效信息的测量计量器具。

(1) 按其在计量中的作用又可将测量仪器分为测量基准、测量标准和工作用测量仪器。





(2) 除实物量具外，测量仪器按其功能分为：

----显示式测量仪器，又称指示式测量仪器。能显示被测量示值的测量仪器。

----比较式仪器。种用于使实物量具或使补测量与量具相互比较的测量仪器。

----积分式测量仪器。通过一个量对另一个量的积分，以确定被测量值的测量仪器。

----累积式测量仪器。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。



2.测量系统

组装起来以进行特定测量的全套测量仪器和其他设备组成的一个系统，可以包含实物量具和化学试剂。

3.测量设备

测量仪器、测量标准、辅助设备以及进行测量所必须的资料的所有硬件和软件的一种总称。

二、测量仪器的特性

指影响测量结果的一些明显特征。为了达到测量的预定要求，测量仪器必须具有符合规范要求的计量学特性。

测量仪器控制：确定测量仪器的特性，并签发关于其法定地位的官方文件。这种控制可包括对测量一起的下列运作中的一项或几项：

- ◆型式批准
- ◆检定
- ◆检验

（一）标称范围、量程和测量范围

----示值范围：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：测量仪器的操纵器件调到特定位置时可得到的示值范围。

----量程：标称范围上限值和下限值之差的模。

----测量范围：也称工作范围，指测量仪器的误差处在规定的极限范围内的一组被测量的值。

(二) 额定操作条件、极限条件和参考条件

----额定操作条件：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的使用条件，一般包括被测量和影响的范围或额定值，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；



----极限条件：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。它应规定被测量和影响量的极限值。

----参考条件：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。





(三) 示值误差和最大允许误差

----示值：由测量仪器所指示的被测量值；

----示值误差：指测量仪器的误差，是测量仪器示值与对应输入量的真值（约定真值）之差。可用绝对误差表示也可用相对误差表示；

----最大允许误差：对给定的测量仪器，规范、规程等所允许的误差极限值。





(四) 响应特性、灵敏度、分辨力

----响应特性：在确定条件下，作用于测量仪器的激励与测量仪器所作出的相应响应之间的关系。可以表达为函数式、数值或图表。

----灵敏度：测量仪器响应的变化除以所对应的激励变化。

----分辨力：测量仪器显示装置能有效辨别的最小示值差，称为显示装置的分辨力。





(五) 稳定性和漂移

----稳定性：测量仪器保持其计量特性随时间恒定的能力。

----漂移：测量仪器计量特性的慢变化。





三、测量仪器的选用原则

应从技术性和经济性出发，使其计量特性（如最大允许误差、稳定性、测量范围、灵敏度、分辨力等）适当地满足顾客预定要求，既够用，又不过高。

（一）技术性

- ◆最大允许误差
- ◆测量范围
- ◆灵敏度
- ◆稳定性
- ◆额定工作条件和极限条件

（二）经济性

- ◆基本成本：设计制造成本和运行成本
- ◆安装成本：安装过程（还包括首次检定及停机损失）
- ◆维护成本：仪器维护（周期检定费应计入）





第二章 法定计量单位

第一节 概述

一、量

1.量的表示方法：一般由一个数乘以测量单位表示特定量的大小，称为量值。

一个特定量的量值与单位的选择无关。

量值与数值、单位的关系可写成：

$$A = \{A\} [A]$$

■ A ：某一量的符号；

■ $[A]$ ：单位符号；

■ $\{A\}$ ：以 $[A]$ 作为单位所表示的量 A 的数值。





2.基本量：在给定量制中约定第认为在函数关系上彼此独立的量。在国际单位制中，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。

3.导出量：在给定量中由基本量的函数所定义的量。

4.量制：彼此间存在确定关系的一组量。





二、计量单位

1. 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,具有约定的名称和符号。其他同种量可与其相比较以表示相对于它的大小。
2. 基本单位: 给定单位中基本量的测量单位。如: CGS单位制中的基本单位为厘米、克和秒。
3. 导出单位: 给定量制中导出量的测量单位。



三、计量单位制：

为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。如：

 国际单位制

 CGS单位制



第二节 我国的法定计量单位

一、法定计量单位

由国家法律承认、具有法定地位的计量单位。

■是在国家法律中被承认应该使用的单位；

■非法定计量单位则只能在特殊领域中应用；

■某些非法定计量单位则只能在特殊情况下，并经过特别允许才能应用。

二、国际单位制

由国际计量大会（CGPM）采纳和推荐的一种一贯单位制。

■ 是在米制的基础上发展起来的一种一贯单位制，

■ 国际通用符号为“SI”。

■ 它由SI单位（包括SI基本单位、SI导出单位），以及SI单位的倍数单位（包括SI单位的十进倍数单位和十进分数单位）组成，具有统一性、简明性、实用性、合理性和继承性等特点。

单位定义

- 1.米：米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒的时间间隔内的行程；
- 2.千克：国际千克原器的质量；
- 3.秒：秒是铯-133原子基态两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9192631770 周期的持续时间；
- 4.安培：在真空中相距1米的两无限长而圆截面可忽略的平面直导线内通过一恒定电流，若这恒定电流使得这两条导线之间每米长度上产生的力等于 2×10^{-7} 牛顿，则这个恒定电流的电流强度就是 1 安培；



5.开尔文：水三相点热力学温度的
 $1/273.16$;

6.摩尔：一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单位与0.012千克碳-12的原子数目相等；

7.坎德拉：一光源在给定方向的发光强度，该光源发出频率为 540×10^{12} 赫的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为 $1/683$ 瓦特每球面度。





包括SI辅助单位在内的具有专门名称的SI导出单位SI词头

可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位



包括 **SI**辅助单位在内的具有专门名称 **SI**导出单位

- 1.弧度 (rad)：一个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；
- 2.立体角(sr)：球面度是一个立体角，其定点位于球心，说明它在圆周上所截取的弧长与半径相等；
- 3.频率(Hz)：周期为1秒的周期现象的频率；
- 4.牛顿(N)：使1kg质量产生 1m/s^2 加速度的力；
- 5.帕斯卡(Pa)：每平方米面积上 1N的压力；
- 6.焦耳(J)：1N力的作用点在力的方向上移动 1m 距离所作的功；



7.瓦特(W): 1秒内给出1J能量的功率;

8.库仑(C): 1A电流在1秒内所运送的电量;

9.伏特(V): 在流过1A恒定电流的导线内,二点之间所消耗的功率若为1W,则两点之间的电位差为1伏特的电位差为1伏特;

10.法拉(F): 给电容器充1库仑电量时,二板极之间出现1伏特的电位差,则这个电容器的电容为1法拉;

11.欧姆 (Ω): 在导体两点间加上1V的恒定电位差,若导体内产生1A的恒定电流,而且导体内不存在其他电动势,则这两点之间的电阻为 1 欧姆。





12. 西门子 (S) : 欧姆的负一次方;

13. 韦伯 (Wb) : 让只有一匝的环路中的磁通量在1秒钟内均匀地减小到零, 如果因此在环路内产生1伏特地电动势, 则环路中的磁通量为1韦帕;

14. 特斯拉 (T) : 每平方米内磁通量为1韦帕的磁通密度;

15. 亨利 (H) : 让流过一个闭合回路的电流以1A/s的速率均匀变化, 如果回路中产生1V的电动势, 则这个回路的电感为1亨利;



16. 摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)

17. 流明 (lm) : 发光强度为1坎德拉的均匀点光源向单位立体角 (球面度内) 发射出的光通量;

18. 勒克斯 (lx) : 每平方米为1流明光通量的光照度;

19. 贝可勒尔 (Bq) : 1秒内发生1次自发核转变或跃迁;

20. 戈瑞 (Gy) : 授予1kg受照物质以1J能量的吸收剂量;

21. 希沃特 (Sv) : 剂量当量。



四、我国法定计量单位的基本使用方法

1.法定计量单位的名称

----法定计量单位名称，均指单位的中文名称。简称和全称可以任意选用；

----组合单位的名称，原则上与其符号表示的顺序一致；

-----乘方形式的单位名称，其顺序应是指数名称在前，单位名称在后。



2.法定计量单位和词头的符号

----应优先采用国际通用符号，并一律用正体；必要时可将简称作为中文符号；

----词头符号的字母，当其所表示的因数小于10⁶时，则用大写体；

----单位符号没有复数形式，不得附加任何其他标记或符号来表示量的特性或测量过程的信息；

-----由两个以上单位相乘构成的组合单位，相乘单位间可用乘点也可不用。但单位中文符号相乘时必须用乘点；

----词头符号与单位符号间不得有间隙或其他标记。





3.法定计量单位的词头的使用规则

----单位名称和符号必须作统一使用，不能分开；

----用词头构成倍数单位时，不得使用重叠词头；

----只通过相除构成或通过乘和除构成的组合单位，词头通常加在分子中的第一个单位之前，分母中一般不用词头；

----一般应使量的数值处于0.1-1000范围内。





第三章 量值传递和溯源

第一节 概述

一、量值传递

量值传递就是通过对计量器具的检定或校准，将国家基准（标准器）所复现的计量单位量值，通过标准逐级传递到工作用计量器具，以保证对被测对象所得量值的准确和一致。





二、量值传递系统

国家计量基准复现的单位量值，通过各级计量标准，逐级传递到工作计量器具，由此形成了量值传递系统。

对于一个国家来说，每一个量值传递系统只允许有一个国家基准。





二、量值传递的方式

目前，实现量值传递的方式有以下10种：

- 1、用实物量具标准进行检定或校准；
- 2、发放标准物质；
- 3、发播标准信号；
- 4、发布标准（参考）数据；
- 5、计量保证方案（MAP）；
- 6、统一标准方法（参考测量方法或仲裁测量方法）；
- 7、比率或互易测量；
- 8、实验室之间比对或验证测试；
- 9、按国际承认的有关专业标准溯源；
- 10、按双方同意的互认标准溯源。





四、量值溯源性

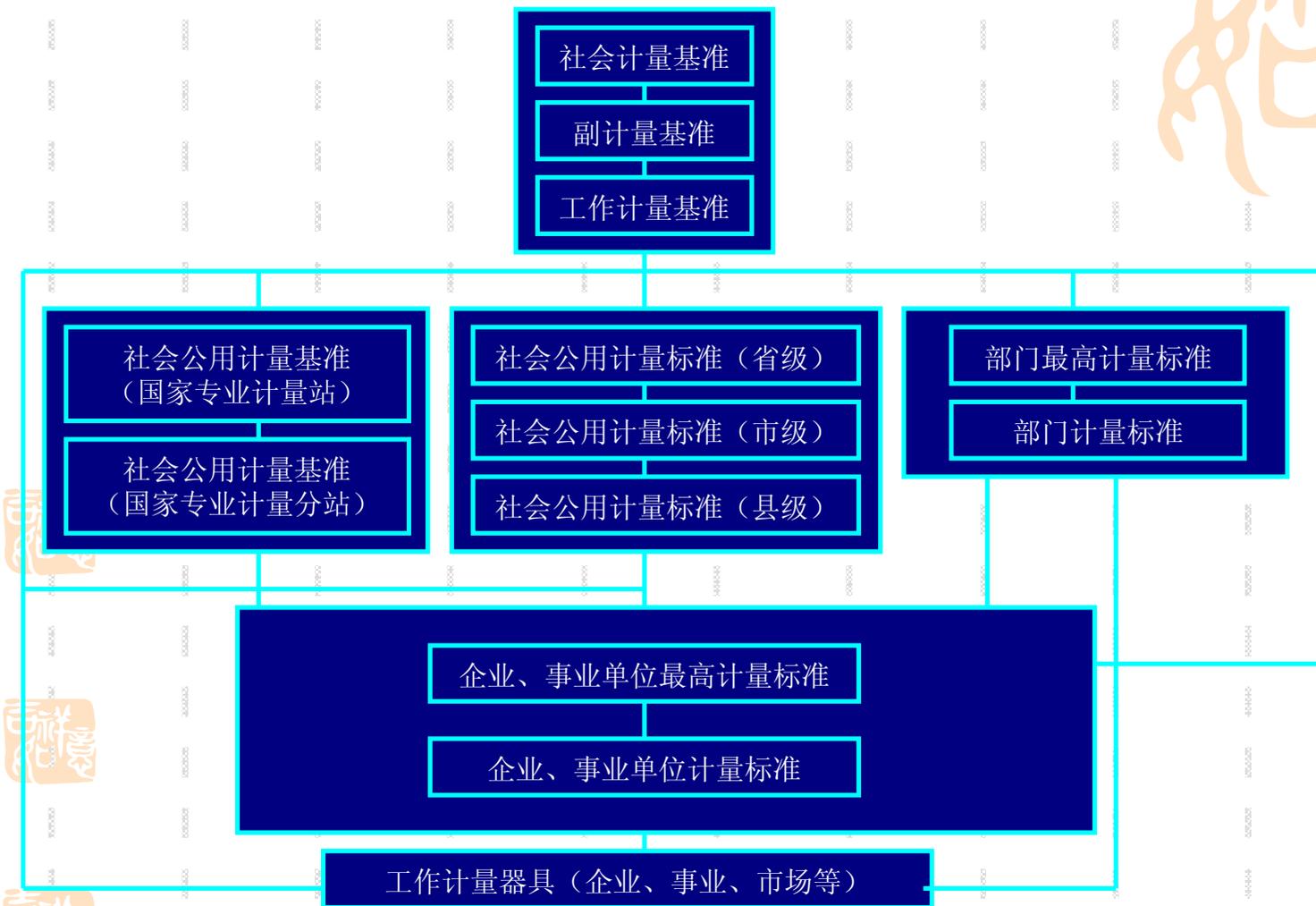
1、量值溯源体系

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（通常是国家计量标准或国际计量标准）联系起来特性，称为量值溯源性。

----量值溯源：是指自下而上通过不间断的校准而构成溯源体系；

----量值传递：是自上而下通过逐级检定而构成检定系统。





社会计量基准

副计量基准

工作计量基准

社会公用计量基准
(国家专业计量站)

社会公用计量基准
(国家专业计量分站)

社会公用计量标准 (省级)

社会公用计量标准 (市级)

社会公用计量标准 (县级)

部门最高计量标准

部门计量标准

企业、事业单位最高计量标准

企业、事业单位计量标准

工作计量器具 (企业、事业、市场等)



2、溯源等级图

(1) 概念

溯源等级图是一种代表等级顺序的框图，用以表明测量仪器的计量特性与给定量的基准之间的关系。有时也称为溯源体系表。它是对给定量或给定量或定型号测量仪器所用的比较链的一种说明，以此作为其溯源性的证据。

(2) 目的

建立溯源等级图的目的，是要对所进行的测量在共溯源到计量基准的途径中，尽可能减少环节和降低测量不确定度，并能给出适当的置信度。





(3) 溯源等级图应给出：

----不同等级测量标准和选择；

----等级间的连接及其平行分支；

----有关测量标准特性和重要信息，如
测量范围、不确定度或准确度等级或最大
允许误差等：

----溯源链中比较用的装置和方法。



第二节 计量基准及计量标准

一、测量标准的概念

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

- 1、研制、建立测量标准的目的是为了定义、实现、保存或复现量的单位或一个或多个量值；
- 2、其作用是在测量领域里作为定值依据和测量用标准器；
- 3、其存在的形式有实物量具、测量仪器、参考物质或测量系统。

二、计量基准

是指在特定领域内，用以定义、实现、保持或复现计量单位或一个或多个已知量值，并具有当代（或本国）最高计量特性的计量器具，是统一量值的最高依据。

- 1、国际基准：经国际协议承认的，在国际上作为对有关量的其他测量标准定值的依据的测量标准。
- 2、国家测量标准标准：经国家决定承认的，在一个国家内作为对有关量的其他测量标准定值的依据的测量标准。

计量基准通常可分为主基准、副基准和工作基准。

三、计量标准

是指准确度低于计量基准，按国家计量检定系统表规定的准确度等级，用于检定较低等级计量器具（含工作计量器具）的计量器具。

计量标准是在一定范围（地区、部门或单位）内统一量值的依据。根据其统一量值的范围，可将计量标准划分为社会公用计量标准、部门（或行业）计量标准和企（事）业单位计量标准。

标准物质：具有一种或多种准确确定的特性值，用以校准计量器具，评价测量方法或给材料赋值，并附有经批准的鉴定机构发给证书的物质或材料。是在规定条件下，具有高稳定的物理、化学或计量学特性，并经正式批准使用的物质或材料。

参考标准：是在给定地区或给定组织内，通常具有最高计量学特性的测量标准，在该处所做的测量均从它导出。参考标准与社会公用测量标准，部门和企事业单位的最高测量标准相当。

工作标准：用于日常校准或核查实物量具、测量仪器或参考物质的测量标准。它的数量很大，通常用参考标准来校准。

传递标准：在测量标准相互比较中用作媒介的测量标准。测量标准的相互比较，既包括同级标准间的相互比对，也包括上一级标准向下一级标准传递量值。

工作用计量器具：用于日常工作中现场测量而不用于检定工作的计量器具。

计量标准的考核：是指对测量标准设备、操作人员、环境条件和必要的规章制度四个方面的综合考核，其性质是测量标准用于开展检定，进行量值传递资格的计量论证。测量标准考核按JIG1033-92《计量标准考核规范》进行。考核合格后由本单位批准使用并向主管部门备案。测量标准考核证书期满前6个月应申请复查。



第三节 校准和比对

一、校准

1、校准

(1) 概念: 规定的条件下, 为确定测量仪器或测量系统所指示的量值, 或实物量具或参物质所代表的量值, 与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。



(2) 校准含义

■ 在规定条件下，用参考标准对包括实物量具或参考物质在内的测量仪器的特性赋值，并确定其示值误差；

■ 将测量食品仪器指示或代表的量值，按照比较链或校准链，将其溯源到测量标准复现的量值上。

(3) 校准目的

----确定示值误差，并确定其是否处于预期的允差范围之内；

----得出标称值偏差的报告值，并调整测量仪器或对示值加以修正；

----给标尺标记赋值或确其他特性，或给参考物质的特性赋值；

----实现溯源性。





2. 校准规范

是指校准所依据的一种计量技术规范，对其通常应作统一规定，特殊情况下也可由企业自行制定。

 校准规范应符合计量体系文件的总体要求，其编写要求可参考 **JJG1002** 《计量器具检定规程编写规则》的方式进行。





二、比对

在规定条件下，对相同准确度等级的同种计量计量基准、计量标准或工作计量器具之间的量值进行比较。



第四章 计量检定及其法制管理

第一节 计量检定

一、计量检定的概念

是指查明和确认测量仪器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。

检定具有法制性，其对象是法制管理范围内的测量仪器。一个被检定仪器也就是根据检定结果，已被授予特性的测量仪器。



二、计量检定的分类

1、强制检定

(1) 概念

指由政府计量行政主管部门所属的法定计量检定机构或授权的计量检定机构，对某些测量仪器实行的一种定点定期的检定。鉴于各国的管理体制不同，法制计量管理的范围也不同。





(2) 强制检定的范围

- 贸易结算工作测量仪器
- 安全防护工作测量仪器
- 医疗卫生工作测量仪器
- 环境监测工作测量仪器
- 社会公用计量标准
- 部门和企业、事业单位的各项最高计量



标准





(3) 强制检定的特点

由政府计量行政部门统管，指定的法定或授权技术机构具体执行，固定检定关系，定送检；检定周期由执行强检的技术机构按照计量检定规程，结合实际使用情况确定。





2.非强制检定

指由使用单位自己或委任具有社会公用计量标准或授权的计量检定机构，对强检以外的其他测量仪器依法进行的一种定期检定。其特点是使用单位依法自主管理，自由送检，自求溯源，自行确定检定周期。



3、检定的依据

检定依据按法定程序审批公布的计量检定规程。国家计量检定规程由国务院计量行政部门制定。无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检定规程或地方检定规程，并向国务院计量行政部门备案。任何企业和其它实体无权制定检定规程。

三、检定周期的确定和检定结果的处理

1、检定周期：一般应根据计量器具的计量性能、使用环境条件和频繁程度等因素规定最大的检定周期。强制检定周期由执行强检的技术机构按照计量检定规程，结合实际使用情况确定；非强制检定由使用单位依法自主自行确定检定周期。

2、检定结论：检定结果中必须有合格与否的结论，检定合格的计量器具由检定单位出具检定证书、检定合格证或加盖检定合格印；经检定不合格的，出具检定结果通知书或加盖注销印。



四、计量检定印、证及使用

计量器具经检定机构检定后出具的检定印、证，是评定计量器具的性能和质量是否符合法定要求的技术判断和结论，是计量器具能否出厂、销售、投入使用的凭证。



■ 计量检定印、证包括：

- (1) 检定证书；
- (2) 检定结果通知书；
- (3) 检定印记；
- (4) 检定合格证；
- (5) 注销印。





第二节 计量技术法规

一、概述

技术法规是“规定技术要求的法规，直接规定或引用或包括标准、技术规范或规程的内容而提供技术要求的法规。”

计量技术法规是实现计量技术法制管理的行为准则，是进行量传递、开展计量检定和计量管理的法律依据。

我国计量技术法则包括：国家计量检定系统表、计量器具检定规程和国家计量技术规范三方面的内容。



二、计量检定系统表

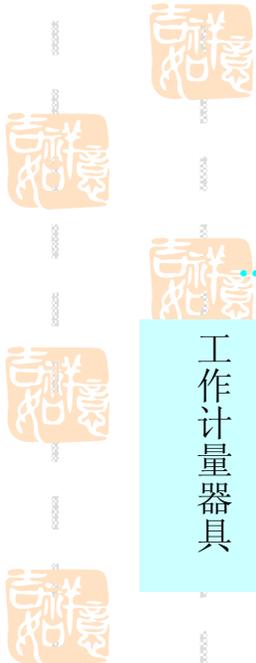
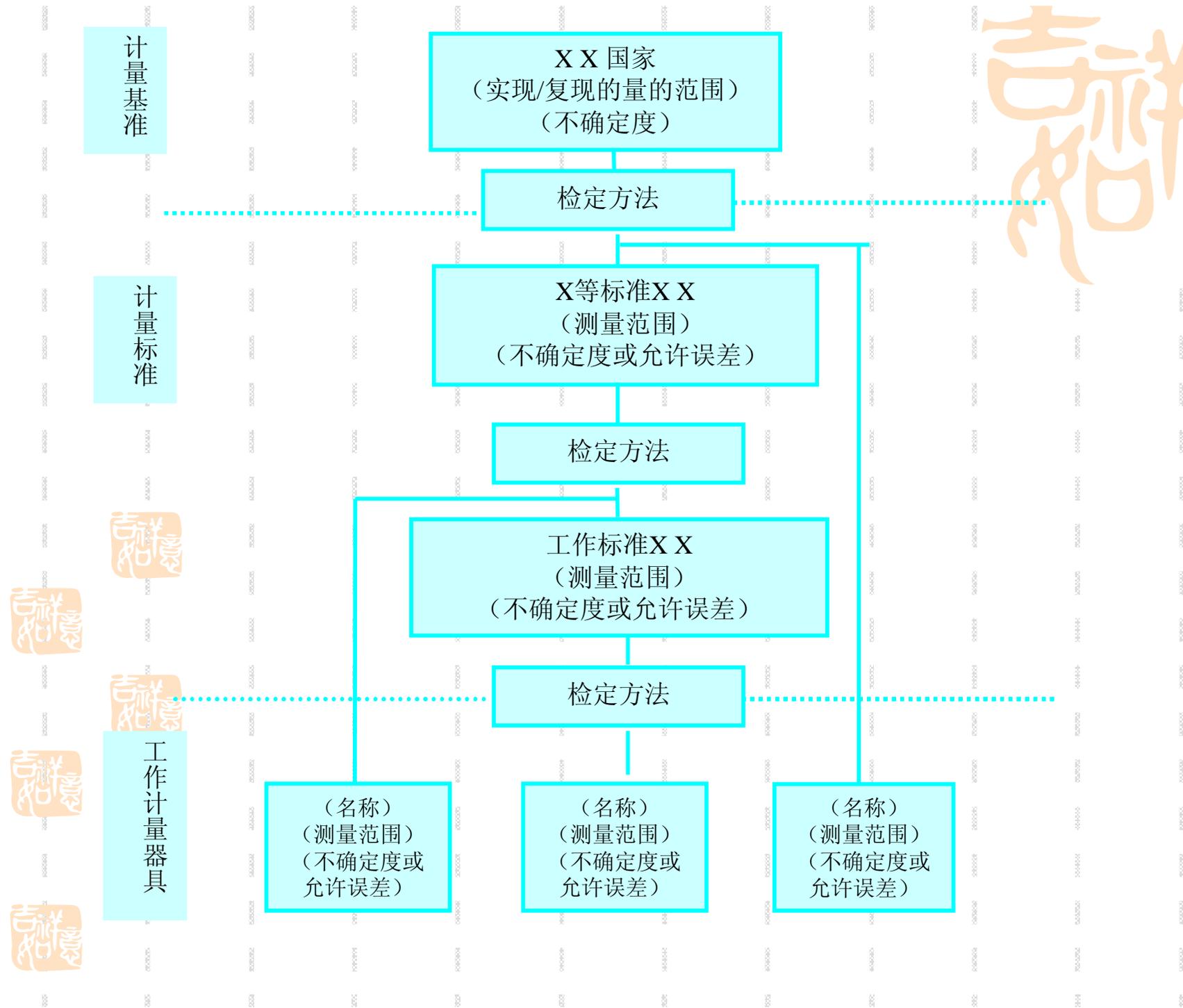
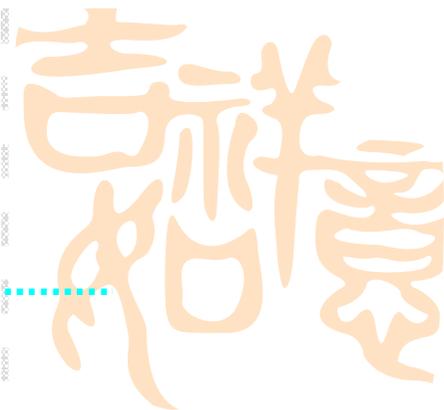
按我国《计量法》的规定，目前以国家计量检定系统表来代表国家溯源等级图，它是一种法定技术文件，由国务院计量行政部门级织制定并批准发布。这种系统表通常用图表结合文字的形式表达，其要求基本上与溯源等级图方式相一致。每一项国家计量基准都对应于一种检定系统表，并由该项基准的保存单位负责编制，经一定的审批手续，由国家计量行政部门批准发布。



国家计量检定系统表是指从国家计量基准到各等级的计量标准直至工作计量器具的检定主从关系所作的技术规定。它以文字、框图、表格形式表示。

内容包括计量基准、计量标准、工作计量器具名称、测量范围、准确度等。反映了测量某个量的各级计量器具概况，因此又称为“计量器具等级图”。







三、计量检定规程

对计量器具的计量性能、检定项目、检定条件、检定方法、检定周期以及检定结果处理所作的技术规定。





(一) 计量检定的规程的特性

1、科学性

检定规程的基本内容主要是计量器具的工作原理、测量技术和数据处理等。它既有科学理论方面的依据，又有实际测量经验的总结；它既要考虑现实的生产水平和测量技术水平，但又必须保证量值的统一。





2.法制性

检定规程是量值传递中的计量技术法规。它所提出的技术要求、规定的检定方法都是有明确的限制和约束作用的。





(二) 检定规程的制定程序

1. 起草

检定规程的起草单位一般是归口单位。如其他单位起草，应把起草稿先报归口单位审查。



检定规程的编写应该按JJG1002 《计量器具检定规程编写规则》

其中正方部分包括：

概述：概要地叙述计量器具的用途、原理和构成（可包含必要的结构示意图）。



技术要求 应着重规定与计量性能、使用寿命、安全可靠性等方面的内容，也可规定表面粗糙度、刻面清晰度等外观质量要求。

检定条件 即计量标准器具、检定设施和环境条件等。





检定项目 即明确规定计量器具的受检部位和内容。有些计量器具可对使用中与修理后的检定项目与新制的检定项目区别规定。





检定方法 即对具体受检项目规定具体的操作方法和步骤，必要时可举例说明。

检定结果的处理 一般检定合格的计量器具应发给检定证书或加盖合格印；不合格的则发给检定结果通知书。





检定周期 一般应根据计量器具的计量性能、使用环境条件和频繁程度等因素规定最大的检定周期。

根据需要，检定规程还可以编写附录。附录的内容一般应为：



- 
- 检定规程下文技术内容的说明和补充；
 - 可试用的推荐性检定方法；
 - 各种专用检定装置和工具的说明与图形；
 - 检定证书、检定结果通知书和检定记录表的格式；
 - 有关的计算表、参数表；
 - 检定数据处理、数值修约和计数示例等。

同时还应起草编写《编制说明》、《试验分析报告（包括误差分析）》等附件。



2、征求意见

检定规程在报批前，应由归口单位先发给全国各有关部门、单位广泛征求意见。根据各方面意见，确定继续调研、试验并把意见分类、整理、分析、答复。





在此基础上正式编写出检定规程
报批稿和《编写说明》、《试验分析
报告》等附件报送国家计量部门审
批。





3、审定和复审

检定规程的审定会由国家计量部门主持或由其委托归口单位主持。审定会通过检定规定后，应提交对检定规程的《审查意见》，明确复审期限（一般每五年复审一次）。复审结论：继续生效、修订或废除。



(三) 检定规程的管理

我国对检定规程的管理目前采取统一编号、分级管理、分类归口、分工负责的方法。

国家计量行政部门统筹安排、制定和下达检定规程的长远规划和年度计划。按照计量专业和精度等级确定归口单位和归口项目，统一规定术语、编写方法、审定方式和审批后统一编号发布。



我国检定规程的统一代号为JJG。编号规则为：

J J G XXX --- XXXX

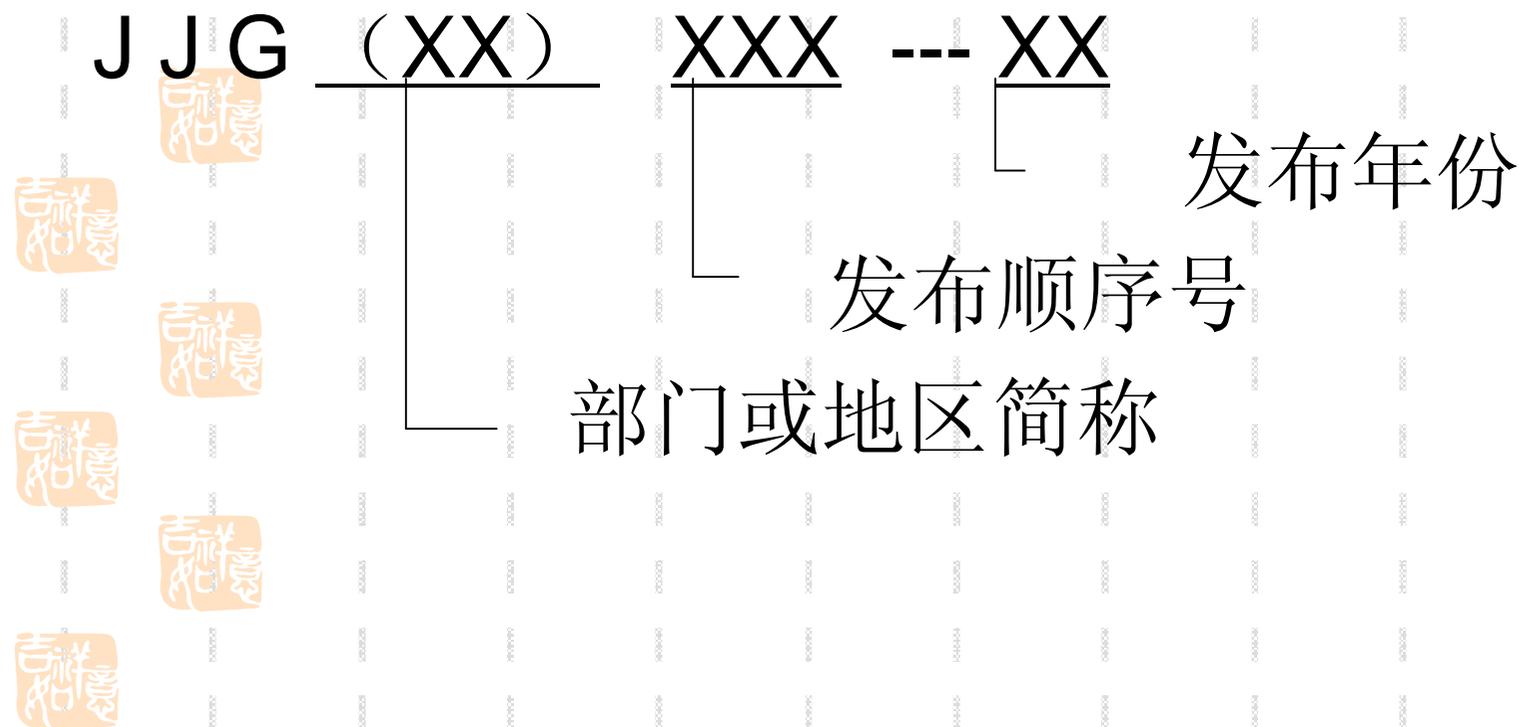
发布年份

发布顺序号





地方或部门计量检定规程的统一代号为JIG后面加一个带括号的地方或行业中文简称，其编号规则为：





检定规程的归口单位一般由各省（市、自治区）计量行政部门和国务院有关部、局的专业计量机构担任。

计量器具检定规程的分类：分为国家、部门和地方计量检定规程三种。





(四) 检定规程实例

1、JJG 56--2000

工具显微镜

2000-05-08发布

2000-10-01实施

2、JJG 124--1993

电流表、电压表、功率表及电阻表

1992年12月26日批准

1993年10月1日

实施

3、JJG 250--1990

电子电压表

1990-06-14发布

1991-01-01实施



四、强制检定的实施

对国家法律规定的强制检定的计量标准器和强制检定工作计量器具实行强制管理，是政府计量行计量法制管理的重要内容；切实执行强制检定是法定计量检定机构和被授权执行强制检定的其他计量机构的重要任务。主要步骤：

■ 调查摸底

■ 建帐

■ 制定规划



五、强制检定计量器具的作用管理

最主要的是：

----周期检定；

----正确使用；

----合理选择使用计量器具的准确度等级。

六、计量授权及其管理

----由政府计量行政部门授权有关单位承担计量法制监督的技术工作的形式，简称计量授权。



法定计量技术机构，以及授权的技术机构，为实施计量法承担的技术工作，都要对行政执法机关负责。被授权单位应遵守如下原则：

(1) 检定测试人员必须经授权单位考核合格；

(2) 计量标准必须接受计量基准或社会公用计量标准的检定；

(3) 检定测试工作要接受授权单位监督；

(4) 涉及计量纠纷一方时可由计量行政部门调解和仲裁检定。

第五章 测量误差与不确定度

第一节 测量方法和测量结果



一、测量方法

在进行测量时所用的，按类别叙述的一组操作逻辑次序。

- (1) 直接测量法
- (2) 间接测量法
- (3) 基本测量法
- (4) 定义测量法
- (5) 直接比较测量法
- (6) 替代测量法
- (7) 微差测量法





二、测量准确度和精密度

1、测量结果

通过测量所得到的赋予被测量的值。

2、测量准确度

指测量结果与被测量真值之间的一致程度。

3、测量精密度

指在规定条件下获得的各个独立观测值之间的一致程度。





三、测量重复性和复现性

1、测量重复性

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，称为测量结果重复性。

(1) 相同的测量程序

(2) 相同的观测者

(3) 在相同条件下使用相同的测量仪器

(4) 相同的地点

(5) 在短时间内重复测量

2、测量复现性

在改变了的测量条件下，对同一被测量的测量结果之间的一致性，称为测量结果的复现性，又称再现性、重现性。复现性条件：以下任一条件发生变化：

- (1) 测量原理；
- (2) 测量方法；
- (3) 观测者；
- (4) 测量仪器；
- (5) 参考测量标准；
- (6) 测量地点；
- (7) 使用条件；
- (8) 长时间间隔。



3、测量结果重复性和复现性的区别

■ 前提不同。

重复性是在测量条件保持不变的情况下，连续多次测量结果之间的一致性；而复现性则是在测量条件发生变化的情况下，测量结果之间的一致性。





四、测量数据修约的规则

1、修约：对某一拟修约数，根据保留数位的要求，将某多余位数的数字进行取舍，按照一事实上的规则，选取一个其值为修约间隔整数倍的数（称为修约娄数）来代替修约数，这一过程称为数据修约，也称为数的化整或数的凑整。





2、修约间隔：又称为修约区间或化整区间，它是确定修约保留位数的一种方式。修约间隔一般以 $K \times 10^n$ （ $K=1, 2, 5$ ； n 为正、负数）的形式表示。修约间隔一经确定，修约数只能是修约间隔的整数倍。





3、修约方法

(1) 如果修约间隔整数倍的一系列数中，只有一个数最接近拟修约数，则该数就是修约数。

(2) 如果为修约间隔整数倍的一系列数中，有连续的两个数同等地接近拟修约数，则这两个数中，只有为修约间隔偶数倍的那个数才是修约数。



第二节 测量误差

一、基本概念

- ◆测量误差：测量结果减去被测量的真值所得的差，好为测量误差或绝对误差，简称误差。
- ◆相对误差：测量误差与被测量真值之比。
- ◆引用误差：以仪器的特定值为分母，某一刻度点的示值误差（绝对误差）为分子，所得的相对误差值。特定值一般为引用值，如量程或标称范围的最高值。
- ◆偏差：一个值减去其参考值（实际值—标称值）。
- ◆修正值：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。

◆随机误差：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。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”。

◆系统误差：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。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”。

例：国家标准《电测量指示仪表通用技术条件》规定，该类仪表准确度等级 $a\%$

($a=0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0$) 就是以允许的最大引用误差划分，要求合格仪表的最大引用误差 $\leq a\%$ 。

用某电流表测量一个其真值为80A的电流，仪表的指示值为80.5A，求仪表该示值的绝对误差和相对误差，设该仪表满刻度值为100A，而在90A示值处的绝对误差最大达0.85，试问该表属于哪一级准确度等级。



二、误差合成

$$\begin{aligned} \text{测量误差} &= \text{测量结果} - \text{真值} \\ &= (\text{测量结果} - \text{总体均值}) \\ &\quad + (\text{总体均值} - \text{真值}) \\ &= \text{随机误差} + \text{系统误差} \end{aligned}$$



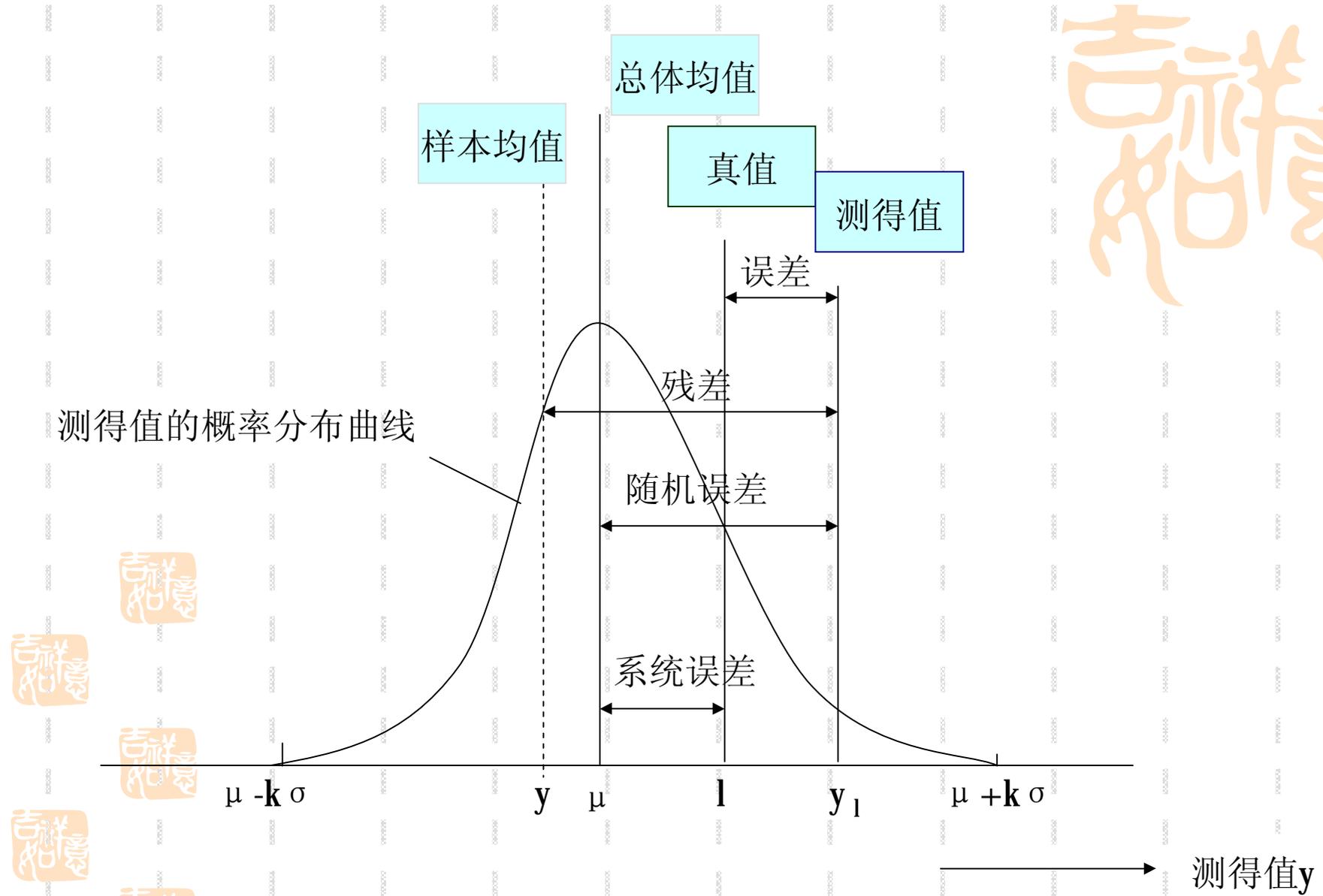


图10.5-1 测量误差示意图



第三节 测量不确定度

一、测量不确定度的概念

测量不确定度是用以表征合理地赋予被测量之值的分数性，表示对测量结果可信性、有效性的怀疑程度或不肯定程序，定量说明测量结果的质量的参数。

测量不确定度的表示方法：

◆标准（偏）差

◆标准偏差倍数或说明了置信水准区间的半宽



1、标准不确定度

以标准（偏）差表示的测量确定度，用符号 U 表示，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。

■ **A类评定**：用对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度的方法，也称**A类不确定度评定**。所得到的相应的标准不确定度称为**A类不确定度分量**，用符号 U_A 表示。

■ **B类评定**：用不用于对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度，称为标准不确定度的**B类评定**，也称为**B类不确定度评定**。所得到的相应的标准不确定度称为**B类不确定度分量**，用符号 U_B 表示。

■合成不确定度：当测量结果是由若干个其他量的值求得时，测量结果的标准不确定度等于这些其他量的方差和协方差适当和的正平方根，称为合成标准不确定度，用符号 U_C 表示。是测量结果标准[偏]差的估计值，它表征了测量结果的分散性。

2、扩展不确定度

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的测量不确定度，称为扩展不确定度，用符号 U 表示。

扩展不确定度是将合成标准不确定度扩展了 K 倍得到的， $U=K U_C$ ， K 称为包含因子。



二、测量不确定度的来源

- 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、取样的代表不够，即被测量的样本不能代表所定义的被测量；
- 4、对被测量过程受环境影响的认识不同全，
或对环境条件的测量与控制不完善；





- 5、对模拟仪器的计数存在人为偏差；
- 6、测量仪器分辨力或鉴别力不够；
- 7、赋予计量标准的值和标准物质的值不准；
- 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。





三、测量不确定度的评定

1、测量过程数学模型的建立

■ 函数关系的建立:

在实际测量的很多情况下，被测量 Y （输出量）不能直接测得，而是由 N 个其它量 X_1, X_2, \dots, X_N （输入量）通过函数关系 f 来确定：

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

上式表示的这种函数关系，就称为测量模型或数学模型，或称为测量过程的数学模型。



■ 估计值及最佳估计值的计算

设被测量 Y 的最佳估计值为 y ，输入量 X_i 的估计值为 x_i ，则有：

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

输入值是经过对模型中所有主要系统影响修正的最佳估计值。否则，须将必要的修正值作为独立的输入量引入模型中。最佳估计值的得出有两种方法：

$$(1) y = \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}) \text{ 较优}$$

$$(2) y = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N)$$

与输出估计值或测量结果 y 相关的测量标准不确定度是通过与输入估计值相关的标准不确定度来确定的。

2、输入估计值测量不确定度的评定

■ A类评定:

(1) 当在相同的测量条件下，对某一输入量进行若干次独立的观测时，可采用标准不确定度的A类评定。

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

x_i 为第*i*次测量的结果;

\bar{x} 为所考虑的*n*次结果的算术平均值。

算术平均值的实验标准差: $s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$

A类标准不确定度: $u(\bar{x}) = s(\bar{x})$

[例]对一等标准活塞压力计的有效面积进行测量。
在各种压力下，测量得10次活塞有效面积 S_0 与工作基准活塞面积 S_9 之比 I_i 如下：

0.250670, 0.250673, 0.250670,
0.250671, 0.250675, 0.250671,
0.250675, 0.250670, 0.250673,
0.250670

$$L = \sum_{i=1}^{10} I_i / 10 = 0.250672$$

则其最佳估计值，即测量结果 L 为： $s(I_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (I_i - L)^2 / (10 - 1)} = 2.05 \times 10^{-2}$
实验标准（偏）差 $s(L)$ 为：

L 的标准不确定度 $u(L)$ 为： $u(L) = s(L) = s(I_i) / \sqrt{10} = 0.63 \times 10^{-6}$

(2) 测量过程的合并样本标准差

对于一测量过程，若采用该查标准或控制图的方法使其处于统计控制状态，当每次核查自由度（观测次数）相同时，则该测量过程的合并样本标准差 S_p 为

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum s_i^2}{k}}$$

式中 s_i 为每次核查时的样本标准差； k 为核查次数。合并样本标准差 S_p 为测量过程长期的组内标准差的平方平均值的正方根。在此情况下，由该测量过程对被测量 X 进行 n 次观测，以算术平均值作为测量结果时，其标准不确定度为

$$u(\bar{x}) = S_p / \sqrt{n}$$



[例]量块的测量保证方案

为使实验处于控制状态，现以核查标准量块建立单个量块的标准差。现对 90mm量块进行重复测量，核查次数 $k=2$ ，若第1次核查时样本标准差为 $s_1=0.015\text{m}$ ，第2次核查时的样本标准差为 $s_2=0.013\text{ m}$ ，则两次核查的合并样本标准差 s_p 为：

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{2}(s_1^2 + s_2^2)} = \sqrt{\frac{1}{2}(0.015^2 + 0.013^2)} = 0.014(\text{mm})$$

若以 s_p 作为核查标准用以考察任一次测量（设测量次数为 $n=6$ ） $u(x) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{0.014}{\sqrt{6}} = 0.006(\text{mm})$ 则标准不确定度为

■ B类评定:

B类标准不确定度的评定是用不同于观测列统计分析的方法，来评定与输入量 X_i 的估计值相关的不确定度，其信息来源主要包括：

■ 以前的观测数据；

■ 对有关材料和技术说明文件；

■ 生产部门提供的技术说明文件；

■ 校准证书、检定证书或其他文件提供的数据；

■ 手册或某些资料给出的参数据及其不确定度；

■ 规定实验方法的国家标准或类似技术文件中给出的重复性限或复现性限。

B类不确定度评定的最常用方法有四种：

(1) 已知扩展不确定度和包含因子

若输入估计值来源于制造部门的说明书、校准证书、手册或其他资料，并给出其扩展不确定度 $U(x_i)$ 及包含因子 K 的大小，则与输入估计值相关的标准不确定度为：

$$U(x_i) = U(x_i) / k$$

[例]校准书上指出，标称值为1kg的砝码的实际实际质量 $a=1000.00032g$ ，并说明按包含因子 $k=3$ 给出的扩展不确定度 $U=0.24mg$ 。则由该砝码导致的测量标准不确定度分量 $u(m)$ 为：

$$u(m) = 0.24mg / 3 = 80 \mu g$$

此时标准不确定度为： $u(m) = u(m)$

$$/m = 80 \times 10^{-9}$$

(2) 已知扩展不确定度和默念水准的正态分布

若给出在一定置信水准的P下的置信区间半宽，即扩展不确定度 U_p ，一般按正态分布来评定其标准不确定度 $U(X_1)$ ，即：

$$u(x_i) = U_p / k_p$$

正态分布下置信水准P与包含因子 K_p 间的关系

P(%)	50	68.27	90	95	95.45	99	99.73
k_p	0.67	1	1.645	1.960	2	2.576	3

[例]校准证书上给出标称值为 $10\ \Omega$ 的标称电阻器的电阻 R_S 在 23°C 时为:

$$R_S (23\ ^\circ\text{C}) = (10.00074 \pm 0.00013)\ \Omega$$

置信水准 $P=99\%$ 。则其标准不确定度为:

$$u(R_S) = 0.13\text{m}\ \Omega / 2.58 = 50\ \mu\ \Omega$$

(3) 其他几种常见分布 ($P=100\%$, a 为区间半宽)

均匀分布 $u(x_i) = a/\sqrt{3}$

三角分布 $u(x_i) = a/\sqrt{6}$

反正弦分布 $u(x_i) = a/\sqrt{2}$

两点分布 $u(x_i) = a$

[例]手册中给出纯铜在20 °C时的线膨胀系数

$\alpha_{20}(\text{Cu}) = 16.52 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 并说明此值的变化范围不超过 $0.40 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定 α_{20}

(Cu) 在此区间内为均匀分布, 则线膨胀系数的标准不确定度 $u(\alpha)$ 为:

$$u(\alpha) = 0.40 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / 1.73$$

$$= 0.23 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

(4) 由重复性限或复现性限求不确定度

在规定实验方法的国家标准或类似技术文件中，按规定的测量条件，当明确指出输入量的两次测得值之差的重复性限 x 或复现性限 R 时，如无特别说明，则输入估计值的标准不确定度为：

$$u(x_i) = r/2.83$$

或：

$$u(x_i) = R/2.83$$

置信水准为95%，作正态分布处理

3、输出估计值标准不确定度的评定

(1) 当全部输入量彼此独立或不相关时，与输出估计值相关的标准不确定度为合成不确定度。

由 $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 可得到输出量（被测量） Y 的估计值 y （测量结果）的不确定度为：

$$u^2(y) = \left[\frac{\partial f}{\partial x_1}\right]^2 u^2(x_1) + \left[\frac{\partial f}{\partial x_2}\right]^2 u^2(x_2) + \Lambda + \left[\frac{\partial f}{\partial x_N}\right]^2 u^2(x_N) + 2 \sum_{I=1}^{N-1} \sum_{J=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_I} \left[\frac{\partial f}{\partial x_J}\right] u(x_I, x_J)$$

其中 $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ 称为灵敏系数， $u(x_i)$ 分别为输入量 x_i 的估计值 x_i 的标准不确定度， $u(x_i, x_j)$ 为任意两输入量估计值的协方差函数。

(2) 当两个输入量之间有一定程度的相关性时，其协方也应作为不确定度的一个分量来考虑。在以下情况可以认为两个输入量的估计值相关的协方差可以认为是零或影响非常小：

- ▶ 输入量 X_i 和 X_k 相互独立；
- ▶ 输入量 X_i 和 X_k 中的一个可作为常量看待；
- ▶ 研究表明，输入量 X_i 和 X_k 之间没有相关性迹象。



4、扩展不确定度的评定

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。而测量结果的区间在被测量值概率分布中所包含的百分数，被称为该区间的置信率、置信水准或置信水平，用符号 P 表示。这时扩展不确定度通常用符号 U_p 表示。这时扩展不确定度通常用符号 U_p 表示，它给出区间能包含被测量可能值的大部分。





5、测量不确定度的报告

(1) 内容

被测量 Y 的最佳估计值，即输出估计值，一般由测量列的算术平均值给出；

描述该测量结果分散性的测量不确定度，它实际上是测量过程中来自测量设备、环境、人员、测量方法及被测量对象的所有不确定因素的集合。





(2) 表达方式

a. 用合成标准不确定度表达

■ $m_s = 100.02147\text{g}$, $u(m_s) = 0.35\text{mg}$

■ $m_s = 100.02147(35)\text{g}$, 括号中的数是 $u(m_s)$ 的数值, 与所说明结果的最后位数字相对应。

■ $m_s = 100.02147(0.00035)\text{g}$, 括号中的数是 $u(m_s)$ 的数值, 与所说明结果的单位表示。

b. 用扩展不确定度表达

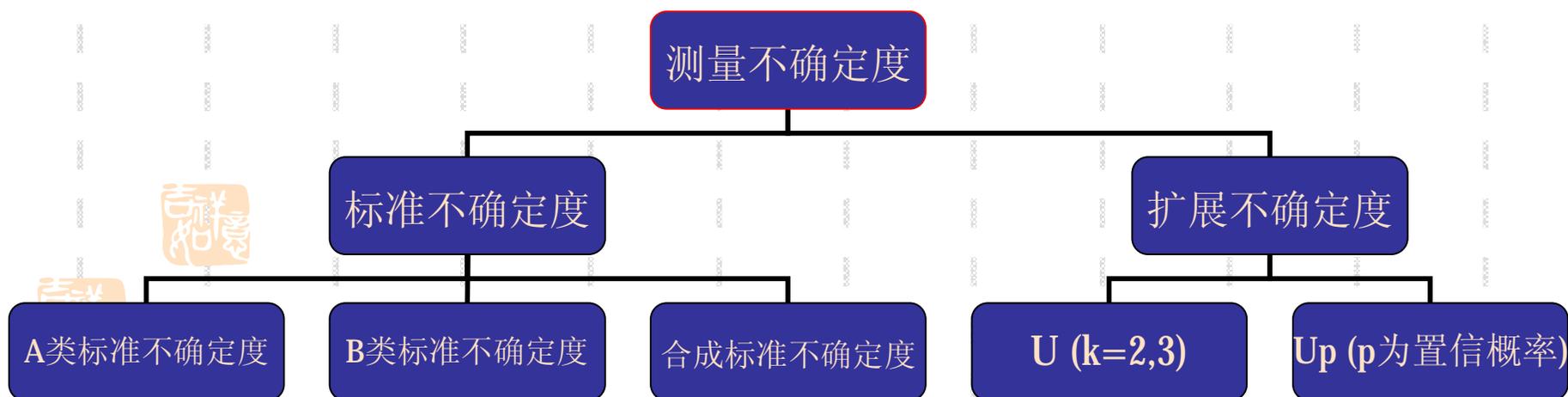
■ $m_s = 100.0215\text{g}$, $U(m_s) = 0.7\text{mg} (k=2)$

■ $m_s = (100.0215 \pm 0.0007)\text{g}$, 其中 \pm 后的数是扩展不确定度 $U(m_s)$, $k=2$



6. 测量不确定度评定流程和实例

(1) 测量不确定度的分类



(2) 测量不确定度评定流程

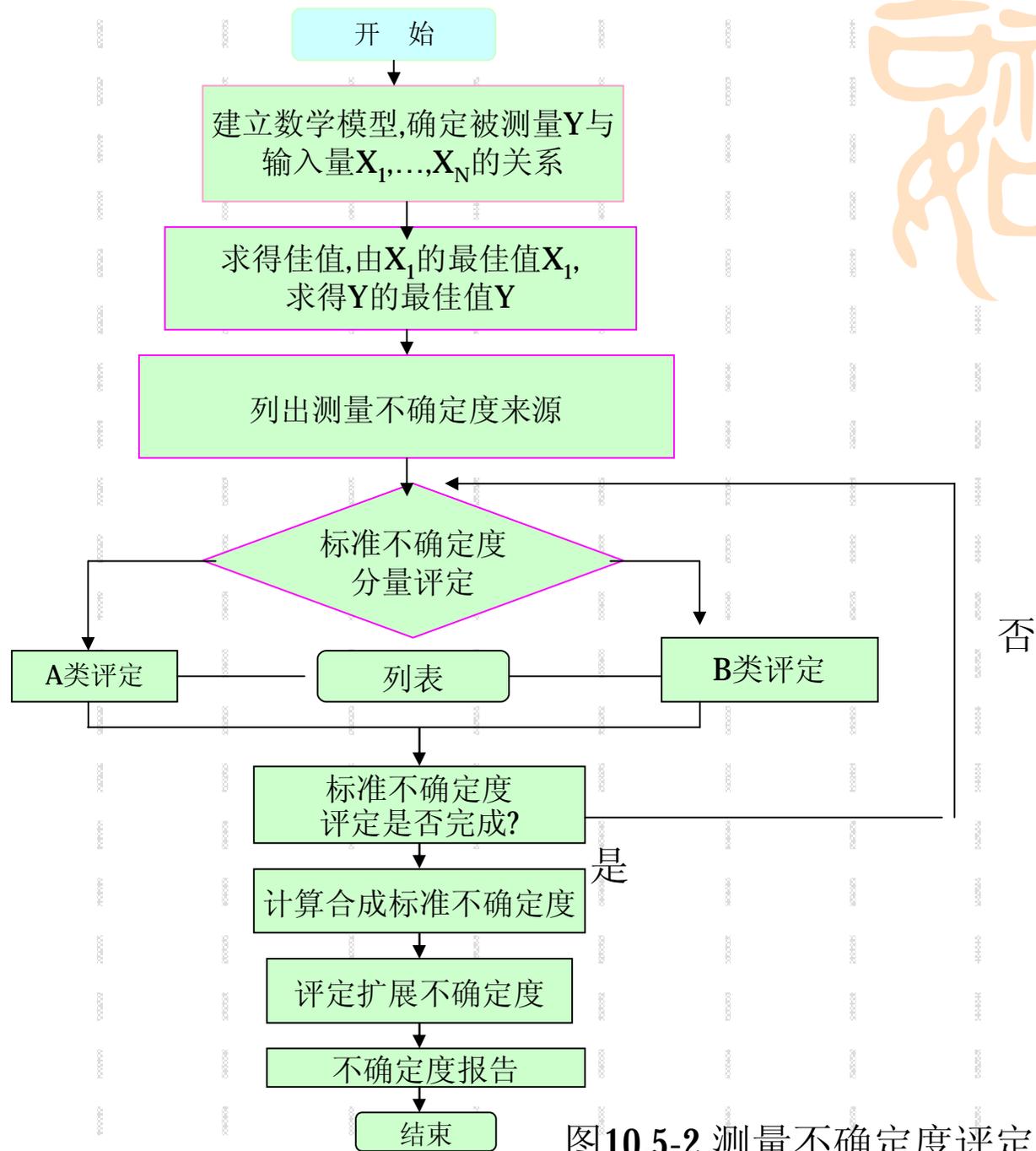


图10.5-2 测量不确定度评定流程图

7.测量不确定度评定实例

[例]高值电阻的测量

(1)测量任务

某电子设备生产中需要使用 $1\text{M}\Omega$ 高值电阻,设计要求其最大允许误差极限在 0.1% 以内。为此,对选用的高值电阻进行测量,以确定其电阻值是否满足预期要求。

(2)测量方法

用一台数字多用表对被测电阻器电阻进行直接测量。

(3)所用的测量仪器

5位半数字多用表一台,经检定合格并在有效期内。用该数字多用表测量电阻的技术指标如下:

最大允许误差为: $= (0.005\% \times \text{读数} + 3 \times \text{最低位数})$

当环境温度在 $(5-25)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,温度系数影响可忽略。

(4) 实测记录

测量数据记录表

第 <i>i</i> 次	读数 <i>R_i</i> / k Ω	第 <i>i</i> 次	读数 <i>R_i</i> / k Ω
1	999.31	6	999.23
2	999.41	7	999.14
3	999.59	8	999.06
4	999.26	9	999.92
5	999.54	10	999.62
平均值 <i>R</i>	999.408		

测量结果
$$R = \sum_{l=1}^n \frac{R_l}{n} = 999.408k\Omega$$



(5) 测量不确定度分析

a. 测量模型

电阻器的电阻值就等于数字多用表的电阻显示值 R 。

b. 测量不确定度来源

①数字多用表不准；

②由于各种随机因素使读数不重复。





c. 标准不确定度评定

① 读数重复性引入的标准不确定度

按A类方法评定，由实测数据得实验标准差

$S(R_l)$ 为：

$$s(R_l) = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^n (R_l - R)^2}{n-1}} = 0.261k\Omega$$

故由读数重复性引入的标准不确定度 $u_l(R)$

$$u_l(R) = \frac{s(R_l)}{\sqrt{n}} = \frac{0.261k\Omega}{\sqrt{10}} = 0.082k\Omega$$



②数字多用表不准引入的标准不确定度按B类方法评定，根据其技术指标确定最大允许误差的区间的半宽度a为：

$$a=(0.005\%R+3\times 0.01k\ \Omega)$$

设测量值在该区间内为均匀分布（矩形分布），取 $k=1.73$ ，故由于数字多用表示不准引入的标准不确定度为：

$$u_2(R)=a/k=0.046k\ \Omega$$

d. 合成标准不确定度的计算

由于上述2项标准不确定度分量之间不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c(R) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{(0.082k\Omega)^2 + (0.046k\Omega)^2} = 0.094k\Omega$$

e. 确定扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，故扩展不确定度 U 为：

$$U = k u_c(R) = 2 \times 0.094k\Omega = 0.188k\Omega \approx 0.2k\Omega$$



(6) 测量结果报告

电阻器的电阻值为 $R = (999.4 \pm 0.2)$ $k\Omega$, 扩展不确定度为 $U = 0.2 k\Omega$, 包含因子 $k = 2$ 。可见, 符合电阻的设计要求

$(1000 \pm 1) k\Omega$, 故该电阻器可用于某电子设备的生产中。





[例]工业容器温度测量

(1) 测量任务

一个标称温度示值被调控到 400°C 的工业容器内部某处实际温度的测量。

(2) 测量方法

用热电偶数字温度计测量。

(3) 所用的测量仪器

带K型热电偶的数字式温度计。



- (4) 实测记录
- (5) 测量不确定度分析
 - a. 数学模型
 - b. 测量不确定度来源
 - c. 标准不确定度评价

① 读数重复性引入的标准不确定度 U_1
按A数方法评定，由实测数据得实验标准差 $s(d_1)$:

$$s(d_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{1i} - \bar{d})^2}{n-1}} = 1.03^\circ\text{C}$$

标准不确定度:

$$u_1 = \frac{s(d_1)}{\sqrt{n}} = 0.33^\circ\text{C}$$





②数字温度计不准引入的标准不确定度
按B类方法评定：

$$u_2=0.6/1.73=0.35^{\circ}\text{C}$$

③热电偶校准时引入的标准不确定度 u_3

$$u_3=2.0^{\circ}\text{C} / 2.58=0.78^{\circ}\text{C}$$





d. 合成标准不确定度的计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.92^\circ\text{C}$$

e. 确定开展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则

$$U = k u_c = 1.8^\circ\text{C}$$

