

# 如何选配测量仪器

重庆市计量测试学会主任 周兆丰

**【摘要】** 本文介绍了测量仪器的选配原则，相关要求及评定方法，以达到满足预期使用要求的目的。

**【关键字】** 选配原则、准确度、检测能力指数、参数检验、参数控制、参数测量

各单位在科研、生产、试验投入和提供用户服务前，依据需要对购入测量仪器进行策划和采购。目前，大多数单位购置测量仪器都严格遵守标准测量器具和被测量器具准确度比列关系（即三分之一原则），但在科研、生产和试验检测中使用的测量仪器大多数未进行测量、技术和经济特性评定，特别是有的单位仅仅满足测量仪器有无的问题，至于测量仪器是否满足预期使用要求，（如准确度、稳定性、量程和分辨力等）进行确认。因此，掌握测量仪器的选配原则、相关要求及评定方法是很有必要的，对确保测量质量、降低成本和提高效率都有好处。

## 一、测量仪器的选配原则

选配时应坚持与本单位科研、生产、试验和经营相适应的原则，即要考虑仪器的先进性又不盲目追求高技术指标，还要注意经济实用，以达到“满足预期使用要求的目的”。选配决策时，应综合考虑企业、事业单位的规模、产品类型或服务对象、技术指标、工艺流程等特点。其具体原则是：

1. 实用原则。坚持按被测对象的实际需要选配测量仪器，如：产品的结构、批量、技术性能参数；生产工艺过程中需要测量和监督的有关参数；化学分析中需要检测、控制和调节的参数；进料、出库、投入以及经销方面测量需要；能源计量、安全与环境监测的需要；建立计量标准开展量值传递的需要等进行配备。

2. 选配测量仪器应从测量、技术、经济特性综合考虑。

### （1） 测量特性

明确测量仪器的计量特性以及为确保计量特性的必要条件是：

- 1> 测量仪器应具有预期使用要求的测量特性，包括准确度、稳定性、测量范围、分辨力和灵敏度等，保证测量结果可靠是首要条件。
- 2> 测量仪器应能实现量值传递和量值溯源要求。测量仪器的检定或校准能符合现行有效检定规程或校准技术规范的要求。
- 3> 接受检定或校准方法和对测量对象进行测量的方法要科学、合理、可行、简便。
- 4> 具有合理的检定周期（或确认间隔）。

5 > 能对测量结果进行评价。

(2) 技术特性

明确测量仪器的基本而通用的结构特性，而不对测量仪器的技术发展不加任何限制，必须达到以下目的：

1 > 测量仪器的计量特性在使用中保持不变。

2 > 测量结果可靠，简单明确。

3 > 使用方便、操作简单可靠。

4 > 运输、拆卸、组装、安装方便、并易于检定或校准装置连接和装配在一起。

5 > 在使用保存期间，易于防护、防损坏、防污染、抗干扰性能良好。

6 > 所需专用辅助设备（安装、读数、记录、电源等）。

7 > 对环境、操作人员条件要和合适，不苛刻。

8 > 特别要注意使用计算机软件的测量仪器不能出现欺骗行为。

(3) 经济特性

1 > 测量仪器购置费用少。在保证测量准确度和功能的前提下，应尽量避免采用高准确度、价格昂贵的测量仪器，如当技术指标和准确度等级指标相同的情况下，首选国内产品。

2 > 操作、维护、保护、检定（或校准）费用少。

3 > 能修理、使用寿命长。

4 > 利用率高。

5 > 使用时所需场地小。

6 > 需要操作人员少。

除以上（1）～（3）条外，还有一些其它综合影响因素也需要考虑。

1 > 测量仪器应有 CMA (中华人民共和国制造、修理许可证英文缩写) 标志，同时要求供应商提供质量证明文件（如型式批准书、产品合格证、质量体系认证证明等），对购置进口的测量仪器应符合《中华人民共和国进出口监督管理办法》的规定要求。

《中华人民共和国进出口监督管理办法》规定，凡进口或外商在中国境内销售《中华人民共和国进出口计量器具型式审查目录》的计量器具，必须办理型式批准手续，型式批准包括计量法制审查和定型鉴定。

《中华人民共和国进出口计量器具型式审查目录》见《中华人民共和国进出口计量器具监督管理办法》的附录。

2 > 测量仪器标准化要求。审查生产厂商是否有制造该仪器设备的企业标准。

3 > 部分类型（如专用测试设备）没有检定规程或计量校准规范，应首先解决量值溯源和校准方法等问题。如签订技术协定时，必须明确验收时的校准方法。

4 > 随着微电子技术、计算机技术的高度发展，测量仪器将计算机技术与测量控制技术相结合，形成了所谓的“智能化测量控制仪器”。特别是“虚拟仪器”的发展，主要取决于

以下因素：计算机是动力，软件是主宰；高质量 A/D 采集卡、调理放大器与传感器是关键。这些新的技术怎么进行综合评审，需要确定相应的技术规范和标准。

5 > 应排除传统习惯影响。

总之，测量仪器选配在综合考虑风险、成本、利润、利益的基础上，对诸多因素进行技术论证、评审和裁决活动。其中最关键是测量特性的选择，特别是准确度是保证测量结果准确可靠的首要条件。

## 二、准确度选择

1. 正确区别和使用测量误差、准确度和不确定度。

(1) 测量误差和测量不确定度的主要区别（见表 1 所列）

误差和不确定度是两个完全不同而相互有联系的概念，它们相互之间并不排斥。不确定度不是对误差的否定，相反，它是误差理论的进一步发展。误差与不确定度的概念是不同的，因此不能混淆和误用。应该根据误差和不确定度的定义来加以判断。应该用误差的地方就用误差，应该用不确定度的地方就用不确定度。

表 1 测量误差和测量不确定度的主要区别

序号	内容	测量误差	测量不确定度
1	定义	表明测量结果偏离真值。	表明被测量之值的分散性，是一个区间。用标准偏差，标准偏差的倍数，或给定概率下置信区间的半宽来表示。
2	分类	按出现于测量结果中的规律，分为随机误差和系统误差，它们都是无限多次测量的理想概念。	按是否用统计的方法求得，分为 A 类评定和 B 类评定，它们都以标准不确定度表示。测量不确定度评定时，一般不必区分其性质。若需要区分时，应表述为“由随机效应引入的测量不确定度分量”和“由系统效应引入的不确定度分量”。
3	可操作性	由于真值未定，往往不能得到测量误差的值。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。
4	数值符号	非正即负，不能用正负号（±）表示。	是一个无符号的参数，当由方差求得时，取其正平方根。
5	合成方法	各误差分量的代数和。	当各分量彼此独立时用方和根法进行合成，否则应考虑加入相关项。

6	结果修正	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。对已修正测量结果进行不确定度评定时，应考虑修正不完善引入的不确定度分量。
7	结果说明	误差是客观存在的，不以人的认识程度而转移。误差属于给定的测量结果，相同的测量结果具有相同的误差，而与得到该测量结果的测量仪器和测量方法无关。	测量不确定度与人们对被测量、影响量、以及测量过程的认识有关。合理赋予被测量的任一个值，均具有相同的测量不确定度。
8	实验标准偏差	来源于给定的测量结果，它不表示被测量估计值的随机误差。	来源于合理赋予的被测量之值，表示同一观测列中，任一个估计值的标准不确定度。
9	自由度	不存在。	可作为不确定度评定可靠程度的指标。
10	置信概率	不存在。	当了解分布时，可按置信概率给出置信区间。

(2) 测量结果、测量仪器和计量标准的误差、准确度和不确定度的区别（见表 2 所列）。

表 2 测量结果、测量仪器和计量标准的误差、准确度和不确定度的区别

测量结果	误差	定义：测量结果减去被测量的真值。 测量结果的误差与真值或约定真值有关，与测量结果有关。 是一个量值，有符号，不能用“±”号表示。 测量结果的误差等于系统误差和随机误差的代数和。
	准确度	定义：测量结果与被测量的真值之间的一致程度。 测量结果的准确度是一个定性的概念，不要和数字连用而将其定量化。
	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。 表示一个区间，无符号。用标准不确定度或扩展不确定度表示
	误差	定义：测量仪器的示值与对应输入量真值之差。也称为示值误差。 示值误差与真值有关，实际上常用约定真值得到示值误差的近似值。 示值误差是对于某一特定仪器和某一指定的示值而言的，同型号不同仪器的示值误差一般是不同的，同一台仪器对应于不同示值的示值误差也可能不同。 最大允许误差是对某型号仪器的人为规定的误差限，它不是误差，实际上是扩展不确定度的概念。
	准确度	定义：测量仪器给出接近于真值的响应能力。 是一定性的概念，但可以用于准确度等级或测量仪器的示值误差来定量表述。 目前大部分仪器说明书上给出的准确度实际上是指最大允许误差。

	不确定度	无定义，因此尽量不要用“测量仪器的不确定度”这种说法。 有时，测量仪器的不确定度是指经校准后所得示值误差的不确定度。 在计量标准建标或考核中，如果没有给出仪器的示值误差，或虽已知其示值误差，但未对测量结果进行修正，则可将“测量仪器的不确定度”理解为在测量结果中，由于仪器所引入的不确定度分量。
计量标准	误差	无定义。 有些计量标准直接就是实物量具或测量仪器。可参照测量仪器的误差。
	准确度	有定义。 对直接由实物量具或测量仪器构成的计量标准。可参照测量仪器的准确度。
	不确定度	无定义，因此尽量不要用“计量标准的不确定度”这种说法。 对于某些能提供一量值的计量标准，则可将计量标准的不确定度理解为计量标准所提供量值的不确定度。 在计量标准建标或考核中，可将“计量标准的不确定度”理解为在用该计量标准进行测量时，由计量标准所引入的不确定度分量。

## 2 准确度选择原则

(1) 测量仪器的测量扩展（区间）不确定度  $U$  满足下式，则准确度满足预期使用要求：

$$U \leq U_0 \quad (1)$$

式中： $U_0$ ——测量允许误差极限。

(2) 测量允许误差极限  $U_0$  的确定

$$U_0 = \frac{T}{2[M_{cp}]} \quad (2)$$

式中： $T$ ——测定量值时的测量允许误差范围或检验监控时的受检参数允许变化范围（或公差）。

$[M_{cp}]$ ——对应于测定量值的允许超差率或检验与监控的允许误差误判断率的检测能力指数。

(4) 测量允许误差下极限  $U_0'$

当  $U \leq U_0$ ，并且  $U > U_0'$ ，则准确度满足使用要求，且准确度适中。

$$\text{则 } U_0' = T/2.6 \quad (\text{测定量值}) \quad (3)$$

$$\text{或 } U_0' = T/10 \quad (\text{检验或监控}) \quad (4)$$

(5) 检测能力指数  $M_{cp}$  值分级的确定

在量值传递过程中，为确保其量值的准确性，通常选择标准器的准确度为被检测量器具准确度的  $1/2 \sim 1/10$ 。具体讲，在高准确度的量值传递中，考虑到标准器制造的困难和经济性，尚可取  $1/2$ ；在一般准确度的量值传递中是取  $1/3 \sim 1/5$ ；在低准确度的量值传递中是取  $1/6 \sim 1/10$ 。

在测量领域中通常用所谓准确度系数来选择测量仪器和测量方法，结合上述原则即可确定  $[M_{cp}]$  值。

测量准确度系数定义为：

本文版权归新三思集团公司及作者本人所有，转载必究。

$$k = \frac{U_0}{T} \quad (5)$$

式中：k—测量准确度系数；

$U_0$ —测量允许误差极限；

T—测量允许误差范围或允许公差范围。

将（5）式代入（2）式

$$[Mcp] = \frac{1}{2k}$$

若  $k = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{10}$  (6)

则  $[Mcp] = 1 \sim 5$

按上述原则，可根据参数检验、参数监控和参数测量，不同要求分别确定 [Mcp] 值。

1 > 参数检验、参数监控的 [Mcp] 值。

根据参数检验、监控的特点，要求  $U_0 < T$ ，也就是 [Mcp] 值以取得大一些为好。根据测量准确度系数 k 的范围是  $1/2 \sim 1/10$  的要求，故 [Mcp] 值取在  $1 \sim 5$  的范围。因此把 [Mcp] 值  $1 \sim 5$  的范围分成 4 档，即“ $3 \sim 5$ ”、“ $2 \sim 3$ ”、“ $1.5 \sim 2$ ”、“ $1 \sim 1.5$ ”；再加上“ $< 1$ ”共 5 档，如表 3 所列。

表 3 检测能力分级及 Mcp 值（适用检验和监控）

级档	A	B	C	D	E
Mcp	$\geq 3 \sim 5$	$\geq 2 \sim 3$	$\geq 1.5 \sim 2$	$\geq 1 \sim 1.5$	$< 1$
误判率	$0.3 \sim 0.16$	$0.6 \sim 0.3$	$1.0 \sim 1.6$	$3.2 \sim 1.3$	$> 3.2$
能力评价	合适	基本满足	低	不足	严重不足

2>参数测量的 Mcp 值

根据参数测量的特点，要求  $U_0 \leq \Delta_{允}$ （ $\Delta_{允}$ 为测量允许误差），也就是  $Mcp \geq 1$ ，即可认为测量仪器满足要求，其相应测量准确度系数  $k < 1/2$ 。

因此，把测量值的检测能力分为五档，如表 4 所列。

表 4 检测能力分级及 Mcp 值（适用测定量值）

级档	A	B	C	D	E
Mcp	$\leq 1.1 \sim 1.3$	$\leq 1.0 \sim 1.1$	$\leq 0.9 \sim 1.0$	$\leq 0.7 \sim 0.9$	$< 0.7$

超差率 $P_{\text{差}}$ (%)	$\leq 0.1 \sim 0.027$	$\leq 0.26 \sim 0.10$	$\leq 0.7 \sim 0.26$	$\leq$ $3.85 \sim 0.7$	$< 3.85$
能力评价	合适	基本满足	低	不足	严重不足

### 三、稳定性选择

1. 稳定性：指在规定条件下，测量仪器保持其测量特性随时间恒定的能力。

稳定性通常是相对时间而言，分长稳定性和短稳定性。长期与短期是相对的。如标准电池规定了3年电动势变化幅度，同时也规定了3~5天内变化幅度。又如规程规定了标准洛氏硬度块的稳定度在一年内不应超过0.4HR。某微波信号发生器频率短期稳定度不应超过 $1 \times 10^{-4} / 15\text{min}$ ，长期稳定度不超过 $5 \times 10^{-4} / 3\text{h}$ 。

2. 考核方法：一般采用以下两种：

(1) 若有关的计量检定规程和测量仪器技术规范对测量仪器稳定性的要求和考核方法有明确规定，可按该规定执行。

(2) 若有关的计量检定规程或测量仪器技术规范对测量仪器稳定性的要求和考核方法无明确规定，购买方应根据预期使用要求，指出稳定性考核指标。其具体方法是：选一稳定的被测对象，每隔一段时间（大于一个月），用该测量仪器进行几次的测量，取其算术平均值 $\bar{Y}$ 作为该组的测量结果。其观测 $m$ 组（ $m \geq 4$ ）。取 $m$ 组测量结果中的最大值和最小值之差，作为新购买测量仪器在该时间段内的稳定性。

3. 选择稳定性应考虑的因素

(1) 测量仪器工作原理结构设计；

(2) 构成材料、制造方法和组装，以及关键元器件抗老化程度，能源消耗特性，耐磨损情况等；

(3) 维护难易程度；

(4) 样机考核情况及制造厂商资料与建议；

4. 稳定性选择原则

总的原则是：测量仪器稳定性指标要优于使用要求指标。一般情况测量仪器的稳定性应小于该测量仪器最大允许误差的绝对值或扩展不确定度（ $k=2$ ）。

### 四、量程、分辨力、灵敏度、鉴别力阈指标的选择

测量特性除以上准确度、稳定性以外，还要求满足量程、分辨力等的要求。

1. 量程选择：量程的选择主要根据使用要求的测量范围来选定。测量范围必须在量程（20~80）%范围之内为最佳。测量范围是指能保证规定准确度，满足误差在规定极限内的量值范围。量程是指标称范围上限值和下限值之差的模。

2. 分辨力选择

分辨力是指显示装置中对其最小示值差的辨别能力。通常模拟式显示装置的分辨力小于标尺分度值的1/5，即用肉眼可分辨到一个分度值的1/5~1/10；对于数字式显示装置的分辨

为末位数字的一个数码，对半数字式的显示装置的分辨为末位数字的一个分度。此概念也可以适用记录式仪器。显示装置的分辨力可简称为分辨力。

要区别分辨力和鉴别力阈的概念，不要把二者相混淆。因此鉴别力阈是须在测量仪器处于工作状态时通过实验才能评估或确定数值，它说明响应的觉察变化所需要的最小激励值。而分辨力是只须观察显示装置，即使是一个不工作的测量仪器也可确定，是说明最小示值的辨别能力。

### 3. 灵敏度选择

灵敏度是反映测量仪器被测量（输入）变化引起测量仪器示值（输出）变化的程度。它用被观察变量的增量即响应（输出量）与相应被测量的增量即激励（输入量）之商来表示。如被测量变化很小，而引起的示值（输出量）改变很大，则该测量仪器的灵敏度就高。

对于线性测量仪器来说，其灵敏度  $S$  为：

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k = \text{常数} \quad (7)$$

式中的  $k$  叫传递系数，当响应  $y$  与激励  $x$  是同一种量时，又叫放大系数。

对于非线性的测量仪器，灵敏度宜表示为：

$$S = \frac{dy}{dx} = f(x) \quad (8)$$

这时灵敏度随激励变化而变化，它是一个变量，与激励值有关。

灵敏度是测量仪器中一个十分重要的测量特性，它是反映测量仪器准确度的重要指标。如电子式材料试验机中使用的力传感器和电子式引伸计均要考核其灵敏度。灵敏度要适中，有时灵敏度并不是越高越好，为了方便读数，使示值处于稳定，还需要特别有意地降低灵敏度。

### 4. 鉴别力[阈]的选择

它是指当测量仪器在某一示值给以一定的输入，这种激励变化缓慢从单方向逐步增加，当测量仪器的输出产生有可觉察的响应变化时，此输入的激励变化称为鉴别力阈，也可简称鉴别力，同样可在反行程进行。例如，在一台电子式万能试验机的显示装置变化末位数字的一个数码为 10N，则此试验机的鉴别力阈为 10N。

要注意灵敏度和鉴别力阈的区别和关系。这两个概念中，灵敏度是被测量（输入量）变化引起了测量仪器示值（输出量）变化的程度；鉴别力阈是引起测量仪器示值（输出量）可觉察变化时被测量（输入量）的最小变化值，是指使测量仪器指针移动所需输入的最小量值。但二者是相关的，灵敏度越高，其鉴别力阈越小；灵敏度越低，其鉴别力阈越大。

## 五、技术、经济特性选择

在准确度等测量特性满足预期使用要求的条件下，同时对技术、经济特性全面衡量评审，保证所选配测量仪器技术先进、性能可靠、使用方便、并且节省投资。

[实例]某厂生产弹簧，其弹簧的压力规定为  $(60_{-0.20}^{+0.25})kN$ ，试选配测量仪器。

本文版权归新三思集团公司及作者本人所有，转载必究。

(1)判断测量性质：属于测量量值。

(2)确定准确度预期使用要求：允许测量误差范围  $T=0.45\text{kN}$ 。

(3)确定  $[Mcp]$ ：因属直接影响安全的参数，选 A 级检测能力，查表 4 取  $[Mcp]=1.1$ 。(4) 确定测量允许误差极限  $U_0$

$$U_0 = \frac{T}{2[Mcp]} = \frac{0.45\text{kN}}{2 \times 1.1} \approx 0.21\text{kN}$$

(5)确定测量允许误差下极限  $U_0'$

$$U_0' = \frac{T}{2.6} = \frac{0.45\text{kN}}{2.6} \approx 0.17\text{kN}$$

(6)初选 1 级 100kN 的压力试验机，评估测量不确定度  $U$ 。

从该试验机校准证书得知，在 60kN 处测量误差得测量扩展不确定度为 0.55% ( $k=2$ )，

则  $U=60\text{kN} \times 0.55\% = 0.33\text{kN}$

(7)判断：因  $U > U_0$ ，故准确度不符合使用要求。

(8)另选 0.5 级 100kN 的电子万能试验机，从校准证书得知在 60kN 处测量误差的测量不确定度为 0.32% ( $k=2$ )，则  $U = 60\text{kN} \times 0.32\% = 0.19\text{kN}$

(9)判断：因  $U < U_0$ ，并且  $U > U_0'$ ，故准确度满足使用要求，并且准确度适中。

(10)稳定性、量程、分辨力和鉴别力均满足要求，从技术、经济特性综合分析，可选择 0.5 级 100kN 电子万能试验机。

可认为示值出现在  $\pm 0.5\%$  范围内的任何处都是等概率的，而落于该范围外的概率基本为零，由此可得出相对示值误差呈矩形均匀分布，由 JJF1059-1999 表 3 取包含因子  $K=\sqrt{3}$ ，采用 B 类方法进行评定，则标准不确定度为：

$$u(F_1) = \frac{a}{k} = \frac{0.6\%}{\sqrt{3}} = 0.35\%$$

估计  $\frac{\Delta u(F_1)}{u(F_1)}$  为 0.10，按公式计算自由度为：

$$\nu_{F_1} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(F_1)}{u(F_1)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{(0.10)^2} = 50$$

#### 4.1.2 智能标准测力仪引起的标准不确定度分量

电子万能试验机是借助于 0.3 级标准测力仪进行检定的，该标准源在检定证书上给出的测量不确定度  $U=0.49\%$ ，其置信因子  $k=2$ ，采用 B 类方法进行评定，则标准不确定度为：

$$u(F_2) = \frac{U}{k} = \frac{0.49\%}{2} = 0.24\%$$

估计  $\frac{\Delta u(F_1)}{u(F_1)}$  为 0.10，按公式计算自由度为：

$$v_{F_2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(F_2)}{u(F_2)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{(0.10)^2} = 50$$

#### 4.1.3 输入量的标准不确定度的计算

鉴于拉力试验机、标准测力仪的不确定度分量彼此无关，所以输入量的标准不确定度的关系式为：

$$u^2(F) = u^2(F_1) + u^2(F_2);$$

$$\begin{aligned} \text{则： } u(F) &= \sqrt{u^2(F_1) + u^2(F_2)} = \\ &= \sqrt{(0.35\%)^2 + (0.24\%)^2} = 0.42\% \end{aligned}$$

#### 4.1.4 输入量的标准不确定度 u(F) 的有效自由度计算

按韦尔奇-萨特思韦特公式，则自由度为：

$$\begin{aligned} v_F &= \frac{u^4(F)}{\frac{u^4(F_1)}{v_{F_1}} + \frac{u^4(F_2)}{v_{F_2}}} = \\ &= \frac{0.0035^4}{\frac{0.0035^4}{50} + \frac{0.0024^4}{50}} = 41 \end{aligned}$$

#### 4.2 输入量 A 的标准不确定度 u(A) 的评定

输入量 A 的不确定度分量主要由以下两部分构成：

A) 哑铃 I 型试样三点厚度测量使用的橡胶测厚仪示值校准结果引起的标准不确定度分量  $u(d_1)$ ；

B) 检测人员测量厚度的重复性引起的标准不确定度分量  $u(d_2)$ 。

##### 4.2.1 测厚仪示值校准结果引起的标准不确定度分量 $u(d_1)$ 的评定

试样的制作标准厚度为  $(1.5 \pm 0.2)$  mm，橡胶测厚仪型号规格为  $(0 \sim 10)$  mm，其校准证书（证书编号：041509331）上提供的不确定度  $U=0.003$ mm,  $k=2$ ，采用 B 类方法进行评定，则标准不确定度为：

$$u(d_1) = \frac{U}{k} = \frac{0.003}{2} = 0.0015$$

估计  $\frac{\Delta u(d_1)}{u(d_1)}$  为 0.10，按公式计算自由度为：

$$vd_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta u(d_1)}{u(d_1)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{(0.10)^2} = 50$$

#### 4.2.2 检测人员测量厚度重复性引起的标准不确定度分量 $u(d_2)$ 的评定

采用测厚仪对同一试样重复测量 7 次, 得到一组厚度数据为: 1.35、1.36、1.36、1.35、1.35、1.36、1.36 (单位: mm), 采用 A 类贝塞尔方法进行评定, 其算术平均值:

$$\bar{d}_2 = \frac{1}{n} \sum d_i = 1.356(mm)$$

$$\text{单次实验标准差: } s(d_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} = 0.005(mm)$$

$$\text{标准不确定度: } u(d_2) = \frac{s(d_2)}{\sqrt{n}} = \frac{0.005}{\sqrt{7}} = 0.002(mm)$$

$$\text{自由度 } vd_2 = 7 - 1 = 6$$

#### 4.2.3 输入量 A 的标准不确定度 $u(A)$ 的计算

鉴于测厚仪示值和测量重复性的不确定度分量彼此独立, 哑铃 I 型试样原始横截面积测量不

$$\text{确定度可合成为: } u(A) = \sqrt{u^2(d_1) + u^2(d_2)} = \sqrt{0.0015^2 + 0.002^2} = 0.0025$$

#### 4.2.4 输入量 A 的标准不确定度 $u(A)$ 的有效自由度计算

按韦尔奇-萨特思韦特公式, 则自由度为:

$$v_A = \frac{u^4(A)}{\frac{u^4(d_1)}{vd_1} + \frac{u^4(d_2)}{vd_2}} = \frac{0.0025^4}{\frac{0.0015^4}{50} + \frac{0.002^4}{6}} = 14$$

#### 4.3 温度效应与应变率效应修正的标准不确定度评定

在室温下进行拉伸试验时, 温度效应修正及其所引入的标准不确定度可以忽略不计。至于应变(或负荷)效应, 即使在常温下试验, 对于某些高分子聚合物及复合材料的拉伸强度也是相当敏感的, 通常会在试验规范或试验标准中对应变(或负荷)速率的允许范围加以限定。如果超出允差, 则应在测量结果的扩展不确定度中加以估算。本文假设应变率效应修正极其所引入的标准不确定度也可忽略不计。

### 5、合成标准不确定度的评定

#### 5.1 合成标准不确定度的计算

输入量 F、A 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按下式计算：

$$u_c^2(P) = \left[ \frac{\partial P}{\partial F} \cdot u(F) \right]^2 + \left[ \frac{\partial P}{\partial A} \cdot u(A) \right]^2$$

$$= [c_1 \cdot u(F)]^2 + [c_2 \cdot u(A)]^2$$

这里与 F 和 A 相应的灵敏系数均为 1，所以可得合成标准不确定度：

$$u_c(P) = \sqrt{u^2(F) + u^2(A)} =$$

$$\sqrt{(0.42\%)^2 + (0.0025)^2} = 0.49\%$$

4.2 合成标准不确定度的有效自由度

$$v_{eff} = \frac{(0.49\%)^4}{\frac{(0.42\%)^4}{41} + \frac{(0.25\%)^4}{14}} = 56$$

## 6、扩展不确定度的评定

取置信概率  $k_p=95\%$ ，按有效自由度  $v_{eff} = 50$ ，查 t 值分布表得  $t_{95}(50)=2.01$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{95rec} = t_{95}(50) \cdot u_c(P)$$

$$= 2.01 \times 0.49\% = 0.98\%$$

## 7、测量结果的不确定度报告与表示

7.1 拉伸强度的计算

$$F = 21.8N, A = ad = 6.00 \times 1.35$$

$$= 8.1mm^2$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{21.8}{8.1} = 2.7MPa$$

7.2 测量结果相关的扩展不确定度的计算

$$U_{95} = P \cdot U_{95rec} = 2.7MPa \times 0.98\%$$

$$= 0.03MPa$$

7.3 测量结果的表达方式

$$P = 2.7MPa, U_{95} = 0.03MPa, v_{eff} = 50$$

参考文献

[1] JJF1059-1999，测量不确定度评定与表示

[2] 周兆丰。金属抗拉强度测量结果不确定度评定。新三思通讯，2004 年第 7 期

3.GB/T230.1-2004 金属洛氏硬度试验 第 1 部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、

本文版权归新三思集团公司及作者本人所有，转载必究。

N、T标尺)