

精密数字多用表指标详解

应用说明



数字多用表的技术指标

无论用什么数字多用表进行测量，我们都在赌博。我们打赌所使用的仪器都能呈现真实值。幸运的是，这个赌博胜算很大，因为一个合格的数字多用表的确能够提供跟真实值几乎一致的测量读数。

技术指标是仪器性能的具体体现。它应该在特定的使用环境下客观的列出仪器的性能。

从这个定义中，我们可以知道定义严谨的技术指标具有哪些特征。

完整——指标中包含所有对测量结果有影响的不确定度因素，包括

一些操作限制，例如温湿度、海拔、震动等影响因素。

明确——应尽可能使技术指标直接，易懂。

客观——技术指标应该客观，不能给销售造成误导。

良好的技术指标应该像体检表或银行对帐单那样清晰明了。制造商必须对他们制定的产品技术指标有充分的把握。而作为使用者，您也应该相信您通过技术指标得到的信息是准确而完整的。

在技术指标表中，您可以看到不确定度指标和不确定度的修正值。

您还可以看到操作限制，例如环境因素。从而使制定的不确定度指标是真实可靠的。这些修正值会以数字体现出来（例如湿度影响）或以国际标准作为参考（例如震动和撞击因素）。

首先，让我们来看看不确定度是如何量化的。

不确定度指标从何而来？

数字多用表指标的主要作用是在测量范围内建立输入信号的测量不确定度。技术指标是“指示值和实际输入值之间的接近程度”。

仪器制造商的信誉依赖于大量仪器在校准周期内的性能表现。(典型的校准周期为一年)。仪器制造工程师和计量人员利用实验室的测量手段进行大量实验并统计,从而制定仪器的技术指标。

数字多用表的指标适用于特定型号而不是某一台仪器。同一型号的仪器性能在校准周期内都应该在指标范围以内。

例如,数字多用表测量一个输入信号,用50台同样型号的数字多用表来做实验。得到一组测试数据,其中大部分仪器的指示值是相同的,由于测量不确定度存在,还是会带来一些数据变化。例如,使用同一台校准器输出10V的校准信号,记录这50台仪器的读数。这些读数值应该集中在一个比较窄的10V左右的范围内。接下来,可以计算出50个测量结果的平均值,最后计算出读数值的标准偏差,用 σ 表示。见公式1。

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

式中, N 为样本数;

X 为测量值。

测量结果的标准偏差表征测量样本在平均值左右的发散程度。这个测量结果的发散程度作为制定不确定度指标的理论基础。

如果我们将每次的读数都统计起来,可以得到一个正态分布图。(几乎所有的测量结果都跟随一个特定分布,包括那些简单仪器的测量结果,例如卡尺和量杯)。图1为以10V为中心的正态分布曲线。

根据实验数据和经验,仪器设计者们获得大量样本的正态分布和标准偏差,从而制定仪器的技术指标。正态分布图将标准偏差和大量读数的分布概率关联起来。

68% 的读数落在平均值的 1 个实验标准偏差范围以内。

95% 的读数落在平均值的 2 个实验标准偏差范围以内。

99% 的读数落在平均值的 3 个实验标准偏差范围以内。

统计学者们将这个百分比称为置信概率。例如: 读数值不超过实际值的 2 个标准偏差的置信概率为 95%。

在上面这个简单的例子中可以看出:

1 σ 代表 $\pm 0.02V$;

2 σ 代表 $\pm 0.04V$;

3 σ 代表 $\pm 0.06V$;

对制造商而言,此时问题变成,制定指标时采用几个实验标准偏差? 置信概率是多少? 标准偏差的阶数越多,仪器在校准周期内超出指标的几率就越低。仪器制造商的内部工程标准将决定在制定指标的时候使用几个标准偏差。FLUKE 的技术指标提供 99% 的置信概率,即 2.6σ 。

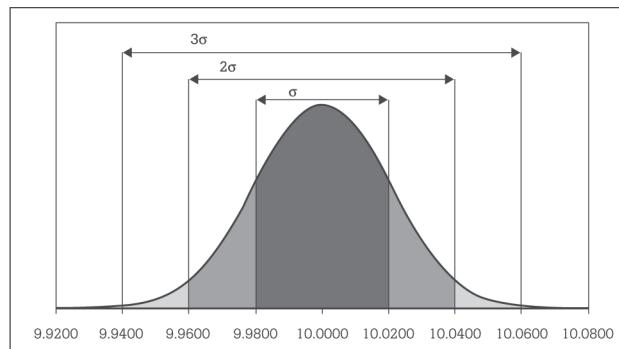


图 1: 10V 测量值的正态分布图和标准偏差

溯源性和技术指标

到目前为止,我们阐述了数字多用表的不确定度指标,但是,仅仅这些工作还不能确定测量电压值、电阻值等是否为真实可靠的。数字多用表的测量性能必须溯源到国家实验室标准。

数字多用表通常用多功能校准器来校准,例如 FLUKE 5700A 或 FLUKE 9100。通常,在数字多用表和国家实验室标准(包括校准器和传递标准等)之间有一系列的联系。

当用校准器来校准数字多用表时,校准器必须是准确可靠的。校准器也必须通过一个不间断的链溯源到国家标准,而且每个环节上的溯源标准也必须有明确的测量不确定度。

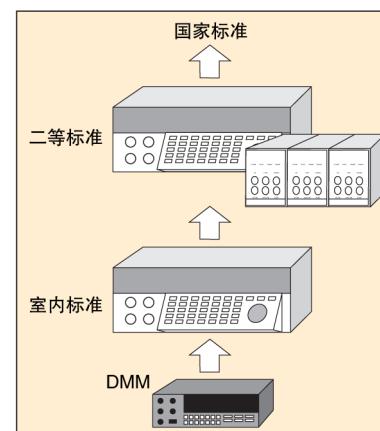


图 2: 数字多用表的溯源图

因此,数字多用表的不确定度还和校准它的计量标准的测量不确定度有关。大多数的数字多用表制定指标包含两个要素:

(1) 数字多用表必须是经过校准的,数字多用表的服务手册上通常会列出推荐的计量标准。

(2) 所使用的校准器必须能够溯源到国家标准,而且其性能在技术指标范围以内。

因此,数字多用表的不确定度实际上包含了校准器的不确定度。如果仪器给出的是相对不确定度,那就意

味着校准器的输出不确定度没有计算在内，应用时必须加到数字多用表的不确定度上。

数字多用表技术指标的组成部分

在仪器制造业的众多标准文件中，还没有制定数字多用表指标的标准。仪器制造商们制定了一些类似标准，可以作为参考来制定数字多用表的指标。本文涵盖了大部分常见的技术指标的制定方法。

由上所述，不确定度指标定义了以标称值为中心的一个区间。当在温度、湿度等固定的环境条件下作测量时，可以确认读数值不会超出指标范围。

时间和温度变化是决定不确定度的重要因素。电子器件随着时间有一定的漂移。由于漂移的存在，数字多用表的不确定度规定只在一定时间范围内有效。这个时间通常和仪器的校准周期一致，典型值为一年。在校准时，时钟重新开始计时，保证不确定度指标在下一个校准周期内有效。

温度变化对每一个仪器内部的元件性能都有影响，包括从简单的电阻到最精密的集成电路等。数字多用表的设计者们在仪器内部设计了温度补偿电路。使用时，以温度系数来表示。

数字多用表的不确定度不能简单地按百分比给出。例如，销售手册上注明基本准确度可以达到0.002%，这只是技术指标的简单描述。

数字多用表的技术指标非常复杂，是由于数字多用表具有许多不同的测量功能，有许多不同的测量量程，以及内部有多个不同的信号处理通道。

如图3所示，为一个直流电压测量的过程简图。每个环节都可以产生不确定度，如信号处理的非线性、偏

移、噪声、和温度影响等。信号输入部分前端是测量不确定度来源的主要部分。

由于设计原因，改变量程可以影响衰减器性能或者放大器性能或者两者皆有。例如，内部噪声在小量程的影响更大。改变仪器功能会改变信号处理通道。因此，每个功能和量程都需要考虑非线性、偏移、噪声和温漂等带来的影响。表1给出了数字多用表的指标和不同因素的影响。

基本不确定度指标

基本不确定度指标通常按下式给出：

$$\pm (\text{读数的百分比} + \text{几个字})$$

“字”代表在某一特定量程的最小测量单位，即这一量程下数字多用表的分辨力。如果量程是40.0000，那么一个字就代表0.0001。比如说，在20V量程内，您想测量一个10V的信号，那么一个字是0.0001V。如果20V量程的测量不确定度公式为： $\pm (0.0003\% + 2\text{个字})$ ，那么我们可以计算出测量不确定度为：

$$\begin{aligned} \pm (0.0003\% \times 10V + 2 \times 0.0001V) &= \pm (0.0003\% \times 10V \\ &+ 2 \times 0.0001V) = \pm (0.0003V \\ &+ 0.0002V) = \pm (0.0005V) \text{ 或者} \\ &\pm (0.0003\% \times 10V + 2 \times 0.0001V) \\ &\text{即：} \pm 0.5mV. \end{aligned}$$

有些指标计算使用以下公式：
 $\pm (\text{读数值的百分比} + \text{量程的百分比})$

在这种情况下，您可以直接用此量程值乘以百分比得到第二项。在这种情况下，不确定度的第二项被称作固定项。固定项表示每一个量程都会产生的偏移和噪声的影响。忽略这一项，将对测量结果产生很大的影响，尤其是接近某一量程的低限值测量时。

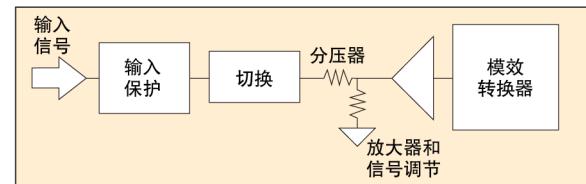


图3：数字多用表直流电压信号测量通道简图

举例	
基本不确定度指标	
输入	$\pm (0.01\% \text{ 读数} + 3 \text{ 字})$
增益 + 固定量	$\pm (0.01\% \text{ 读数} + 3 \text{ 字})$
不确定度指标修正量	
温度系数	$\pm (0.01\% \text{ 读数} + 3 \text{ 字})/^\circ\text{C}$, 0°C 至 18°C 或者 28°C 至 50°C
时间	1年
不确定度指标影响量	
预热时间	余热 1 小时后指标有效
工作温度	$23 \pm 5^\circ\text{C}$
相对湿度	80% 相对湿度, 0°C 至 35°C ; 70% 相对湿度, 35°C 至 70°C
储存温度	10°C 至 60°C
振动	满足 MIL-T-28800E 标准的 3 型, 3 级, E 类设备
电磁兼容耐受度	符合 EN 50082-1
海拔	2000 米
工频电源电压	100V/120V/220V/240V $\pm 10\%$
过电压保护	600V 过电压, 类别 2

表1：数字多用表指标主要组成部分

不确定度的修正

修正主要是考虑环境温度和时间变化等产生的不确定度。修正值要加到已有的不确定度指标上。有些仪器指标不仅给出一年的指标，而且还有 90 天技术指标。90 天指标比一年的指标更严格。这就使得数字多用表可以在要求更严格的场合使用，经常校准就可以满足此要求。

前文所述，技术指标只在一定的温度范围内保证，室温从 18°C ~ 28°C 。如果在一个更宽的范围内校准的话，测量不确定度必须按不同的温度进行补偿。

例如，同样是测量一个10V的信号，在现场计量，温度为 41°C 。则数字多用表的温度系数按下式给出。

$$\pm (0.001\% \times \text{读数值}) / \text{每摄氏度} (18^\circ\text{C} \sim 28^\circ\text{C})$$

28°C时是不确定度无需温度补偿的上限，此时温度高出13°C，修正值为 $0.001\% \times 10V = 0.1mV/\text{°C}$ 。那么在41°C的修正值为 $0.1mV/\text{°C} \times 13\text{ °C} = 1.3mV$ 。因此，得出电压测量的整个不确定度为 $\pm (0.5mV + 1.3mV) = 1.8mV$ 。请注意，修正过的不确定度是原来的3倍多。

不确定度其他影响量

数字多用表的不确定度除了时间和温度之外，还有其他影响来源。例如：仪器的储存温度、相对湿度、电子辐射等因素。数字多用表的使用电源必须是纯净的，确保仪器内部电路工作正常。

有些不确定度影响量可以很容易明确，例如：电源、纬度和相对湿度等。数字多用表的外壳并不是完全封闭的，空气也变成了仪器内部的元件。空气的电气特性受密度、湿度的

影响较大，因此设计者们在这些参数上设置了使用范围。

一些更复杂的设计如过压保护、振动、电磁兼容等都可以通过设计和标准化的测量而得到。国际标准文件对这些都规定了一系列的测试程序。如果把这些所有因素都加上的话，数字多用表的技术指标将变得非常繁杂，因此数字多用表的设计者们只是列出了相关的标准文件。

不同数字多用表的比较

评价几种数字多用表的性能时，最好的方法就是在相近的测试条件下进行一些测量。首先，要确保每台数字多用表都要在符合要求的环境条件应用。然后，比较可能用到的各种功能和量程，例如直流电压、交流电压、直流电平、欧姆等。另外，是否经常在某一量程的下限进行测量，如果是，那么应该明确量程对读数

的影响。每次测量结束，要将不确定度换算成有单位的量，例如电压、电阻。比较测量结果的不确定度，从而确定数字多用表的性能优劣，适合工作需要与否。

能够读懂并利用数字多用表的不确定度指标是一项非常基本的技能。如果在两台不同的数字多用表上测得不一样的值，很可能是由于两台仪器的测量不确定度不同。当您需要比较不同数字多用表的性能，从而决定要购买哪一台时，理解指标可以帮助您选择合适的仪器。并且，用数字多用表作重要的测量时，您可以做到胸有成竹，确信所使用的数字多用表能够胜任测量工作。

福禄克，助您与时代同步！

美国福禄克公司

中文网址：www.fluke.com.cn

英文网址：www.fluke.com

北京办事处

地址：北京建国门外大街22号，赛特大厦2301室
电话：(010)65123435 传真：(010)65123437

邮编：100004

上海办事处

地址：上海市长宁区临虹路280弄6号楼3楼
电话：(021)61286200 传真：(021)61286222

邮编：200335

广州办事处

地址：广州体育西路109号，高盛大厦15楼B1座
电话：(020)38795800/38795811 传真：(020)38791137

邮编：510620

成都办事处

地址：成都市人民南路四段19号威斯顿联邦大厦17楼K-N座 邮编：610041
电话：(028)85268810 传真：(028)85268988

邮编：610041

西安办事处

地址：西安市二环南路100号，金叶现代之窗1010室
电话：(029)88376090 传真：(029)88376199

邮编：710065

重庆联络处

地址：重庆市渝中区中山三路131号希尔顿商务楼805室
电话：(023)89061910 传真：(023)89061909

邮编：400015

沈阳联络处

地址：沈阳市和平区和平北大街69号总统大厦C座1301室
电话：(024)23286038, 22813668, 22813669, 22813660 传真：(024)22813667

邮编：110003

深圳联络处

地址：深圳市福田区深南中路华能大厦1101室
电话：(0755)83680050 传真：(0755)83680040

邮编：518031

武汉联络处

地址：中国武汉建设大道518号招银大厦1515室
电话：(027)85743386 传真：(027)85743561

邮编：430022

济南联络处

地址：济南市泺源大街229号金龙中心主楼19L
电话：(0531)86121729 传真：(0531)86121767

邮编：250012

北京维修站

地址：北京建国门外大街22号赛特大厦401室
电话：(010)65286306 传真：(010)65286307
全国免费服务热线：4008103435

邮编：100004