

过程仪表校准器指标的理解

技术应用文章



选择校准器首先是通过技术指标的介绍资料来进行。它用于所有相同型号的校准器。技术指标是在对大量仪器的统计基础上得出的。它不是描述某一台特定的校准器，而是概括了这一类仪器的共同特性，任何一个校准器都应该符合所有的指标并且一般地都应明显超出大部分指标的细节。

一个好的技术指标应该有以下特点：

- 1、它们必须是完备的；
- 2、它们应易于理解和使用；
- 3、它们应包括日常使用中其它因素的影响，比如环境和负载等。

完备性要求提供足够的信息，这样使用者能够知道所有可能遇到的输出（输入）的限制范围。所有限制范围内可能和允许的环境条件，以及所有可能的负载情况。便于使用也是很重要的。许多指标可能会导致混乱或难于理解。因此，错误的理解会导致使用错误或校准错误。

完备的要求有时会与方便的使用相矛盾，两者不能兼得。指标的设计所面临的挑战是同时满足两者的要求。为达此目的，一般会采用一种方法，即将各种误差的影响限定于一个可操作的相应窗口之内。例如，某一指标是在 $23\text{ °C} \pm 25\text{ °C}$ ，湿度小于 80%，所有负载都在规定范围之内指标在 6 个月内有效，这就极大地方便了使用者。因为该仪器只要在规定的范围内使用就不必考虑这些因素的影响。

指标的重要性

深入理解技术指标对于保持溯源性和保持全球范围内产品，质量和生产安全的一致性至关重要。

溯源性

溯源一词是指仪器被证明对于它们所测量的参数可以和国家标准保持一致。这意味着使用该仪器得到的测量值可溯源到国家标准。经过认证的仪器是那些用比它们性能更好而且也经过认证的仪器对其进行定期的检测。仪器必须经过特定的检测程序，结果有文档备案并且必须按规定的的时间间隔重复进行。这种与高一级认证仪器进行比较的过程一级一级重复直到国家权威机构。例如在美国是美国国家标准技术局（NIST）。这种无间断的校准链被称为“溯源链”。

对于过程仪表校准器其溯源性是指该仪器的检测功能被认定在其规定范围内。例如信号电平，环境条件，使用条件以及指标有效的时间等都应在规定范围内。这些仪器通常是用生产厂家推荐的方法和仪器来校准的。可溯源的测量可以保证制造商的产品和工业生产过程是一致的和高质量的，没有溯源的测量将导致产品和生产过程不稳走。这种不稳定也会造成浪费，坏的质量不仅浪费了资金也损害厂家的声誉。

可溯源测量不仅保持了公平交易而且符合法律规定和标准。由于全球范围内对 ISO9000 质量标准的认可，导致了对校准和校准仪器的极大需求。推广 ISO9000 的一个目的是使生产厂商在一个国家用于质量监测的方法可以用于其它国家，它是建立在测量校准方法和实际情况基础之上的。

如何衡量校准器的指标

无论是仪器校准，工业过程控制，还是产品性能测试所用的检测仪器必须具有更高

的精度才能用来比较被测仪器的误差。测试不确定度比（Test Uncertainty Ratio-TUR）是被仪器的误差与高一级性能的仪器的比。为了排除因校准仪器误差所造成的不希望的结果，理想情况是校准仪器的性能比被较准仪器高十倍以上。然而通常这是无法做到的。所以一般来说，校准仪器的误差优于被校仪器 3 至 5 倍时就不会造成实际影响。所以 4:1 作为足够的 TUR 被工业部门广泛接受。例如一个需要校准检测的变送器的指标精度为 1%，则所用的校准器必须有优于 0.25% 的精度（即优于变送器 4 倍的精度）。

如何将校准器的性能和其指标对比

首先必须认识到公布于纸上的指标是厂家针对某一类仪器所给出的，而不是代表单一台的仪器。因此，某一台仪器不应该是刚好符合其指标，而应该是比公布的指标要好。只不过是究竟好多少是由生产厂家的质量控制原则和政策所决定的。这就是所谓指标的置信度或其覆盖的各种因素的多少。在整个工业界还没有统一认可的置信度标准。有的可能是 95%，最低可到 64%，而最高可达 99% 或更高（保守的原则）。Fluke 的原则是 99% 或更高的保守的原则。（用统计的理论，这种置信度代表着覆盖了三个标准的误差偏离）。这种保守原则的好处是单台仪器在具体指标中的典型性能只是公布指标的三分之一。如果和公布的指标比较，它就大大提高了实际 TUR 约三分之一。比如一个校准器公布的指标为 0.25%，而实际中可达到 0.08% 或更好。值得注意的是，不同的厂家所做出的选择是不同的。因此有不同置信度的原则，它将导致一些潜在的影响。不同厂家的不同置信度原则将导致对指标的误解。例如，一个保守的为 1% 的仪器指标，其典型指标可达 0.03%。然而比较随意的，指标为 0.08% 的仪器精度，它只能达到该指

标或经常会有仪器超出该指标。然而用两种不同原则直接进行 0.08% 级的比较时，实际上能获得低一级的性能。

独立比较技术指标可使用两个原则：

- 1、尽量去查明厂家对指标所使用的置信度，从而保证在同等条件下进行比较。
- 2、要注意公布于纸上的指标是一个普遍的性能指标，所以尽可能对几台同样的仪器进行指标的检测来作为选择的标准。

技术指标的理解

许多校准器厂家的仪器在出厂前必须通过复杂的检测和出厂程序。但在评估开始之前，必须先对哪台校准器进行检测。校准器指标一般是这些检测程序的第一步。理想上，指标是对校准器的客观的描述。它们可能是保守的，或是激进的。在表述技术指标时，厂家是不受任何的约束的。有信誉的厂家试图尽可能详细精确地描述它们的参数，并不隐瞒其缺点故意省略一些相对的指标。一些厂商，如 Fluke，会有余地的写明其产品的指标并且其仪器会普遍超过公布的指标。而另外一些厂商可能使其公布的指标显得比仪器的实际性能还要好。那些广告中列出的吸引人的指标可能是不完备的而仅仅反映了一小部分仪器性能。广告或产品说明经常出现上下脚标 (Footnote)、星号等。一般来说有两种类型的脚标。一类是作为说明，而另一类是起某种证明作用。请时刻注意仔细阅读所有脚标并决定哪些对指标有具体的影响。

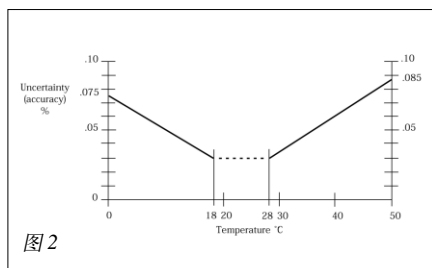


Figure 2. Uncertainty vs temperature, at full scale on the 11 volt DC range.

使用者还必须清楚，校准器指标适用于整个系列产品而不是某台特殊的仪器。比如 Fluke 700 的指标是针对整个 F700 系列所制定的。它不是针对任何某个特定的 F700。因为每台校准器对整体性能的偏离变化应是分布的，既不是影响很大的。所以大部分的仪器应在其指标范围内表现得更好。但单台仪器的性能指标不能作为整体仪器指标。

尽管有很少部分的仪器在一些功能和参数上会处于临界指标或超出指标范围，但大多数的仪器都应该有极好的性能。

技术指标的关键部分

指标的分析是一件很复杂的事情。为了对指标有清楚地了解，您需要注意一些关键部分以及知道如何从脚标，小的注释和指标本身中找出这些关键部分。当比较不同厂家校准器的指标时每个指标都应该仔细考虑，其中过程仪表认证校准器的最主要的四个部分是：时间，温度，置信度和标准的溯源性。

不确定度和精度

一般在技术资料或公布的指标上，可以看到精度为 0.02% 的字样，它被普遍地认同于测量的不确定度。

其意思是指该仪器进行测量时的结果是在真实值的 0.02% 以内。在所使用的指标时需注意以下几点。

- 1、有些指标经常在很短的时间后就超出其范围。
- 2、有些指标经常在超出很小的温度范围后就超出其范围。
- 3、有些指标是一种相对的指标。
- 4、有些指标可能不是用保守的置信度而是用激进的方法标出的。

下面将对这些因素进行讨论。

1、时间

技术指标中通常包含时间的指标。即在该时间范围内校准器能达到所标出的指标。

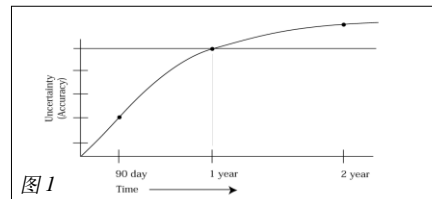


Figure 1. Uncertainty as a function of time.

设定时间间隔或校准间隔是基于对仪器内模拟电路漂移的考虑，它是必不可少的。这个校准间隔是用来衡量一个仪器保持其指标的能力如何。通常在实际中使用的时间间隔有 30、90、180 和 360 天。对于 Fluke 700 系列校准器，校准间隔是一年或二年。Fluke 的校准器包括了随时间延长而产生的性能指标的变化。而其它厂商可能不是这样做的。图 1 说明了校准器的不确定度随时间而增加的函数关系。所以在衡量和比较仪器指标时首先要确认是否在同样的时间间隔内。也就是同等的比较，例如不能用某台仪器 30 天的指标和另一台仪器 360 天的指标进行比较。

在刚刚完成校准的同一时刻几乎每台仪器都可达到极高的指标。不幸的是，这个指标只能在校准后保持几分钟。如果在公布的指标中没有关于时间的说明，最好应该向厂家索取这方面的数据。

2、温度

指标中的温度范围也是非常重要的。要确认指标的有效范围是否能满足你的使用条件。

规定温度范围是必须的，因为它是考虑了仪器中模拟电路的温度系数。常用的温度范围是 $23\text{°C} \pm 5\text{°C}$ 度。这个范围反映了大部分实际的使用情况。还应注意温度范围应在整个校准间隔之内是有效的。

因此，如果仪器的指标是在 $23\text{°C} \pm 1\text{°C}$ 度，它在长期使用时就具有了非常严格的温度限制。

超过了温度范围，就要用温度系数来对精度指标的下降程度进行描述。如果仪器给出的通常温度范围以外使用，表示误差的 TC (温度系数) 就要加在原来的技术指标

之上。参考图2中的温度系数的曲线。例如图2所示,我们来考察一下F700校准器在11V直流,满量程范围内不确定性与温度的函数关系。图中虚线显示了仪器在 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内的精度。在虚线的区间内其精度在满量程的0.03%以内,这也就是使用在 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中的指标读数的0.025%再加上0.005%的满刻度读数。这是在18至28度范围内的情况。超出这个范围,实线显示了仪器参数下降的情况。温度系数(TC)经常以脚标的形式给出。公式为:

$$TC = X\% / ^{\circ}\text{C}.$$

X表示在超出温度范围每变化一度性能所下降的程度。当温度超出了给出的范围,要计算这时的精度就需要有修正因数

$$T_{\text{MOD}},$$

$$T_{\text{MOD}} = |TC \times \Delta t|$$

Δt 是使用环境的实际温度减去给定的温度限。 t =使用环境温度。温度范围=超出温度限的范围。

如果一个校准器使用在超出给定的范围以外,温度系数的影响需要加到基本精度上才是全部的精度。 T_{MOD} 是用于计算全部的指标,此时用下面的公式:全部精度=(温度范围内的基本精度)+ T_{MOD} 。例如,假设一个精度为0.03%的校准器,它的温度系数(TC)为0.002%/°C。该仪器在 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中使用时为: $t=32$,限制范围= $23 + 5 = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$T_{\text{MOD}} = 0.0025\% | 32-28 | = 0.0025\% | 4 | = 0.01\% \text{ 最后的精度} = 0.03\% + 0.01\% = 0.04\%$$

就象所看到的,当温度因素考虑进来以后,指标有了很大变化。当比较两个不同温度范围内的仪器指标时,知道如何计算是必须的。比如Fluke规定了大多数校准器的温度范围是 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为了真实比较两台仪器就需要使用前面的计算方法将它们都放在同等温度范围中。最先进的校准器和仪器规定了较宽的温度范围,因为它们并不仅仅用在易于温度控制的实验室

内。用于过程控制工厂的校准器需要有较大的温度灵活性,前面的公式用于校准器工作在给定的温度范围以外时其性能下降的程度。

3、校准的溯源性

不确定度必须相关的评价或整体的评估。相对的不确定度并不包括那校准器参考校准的附加不确定度。例如当一个校准器的不确定度被定义为与标准的相对值时,这只包括了校准器的不确定度。这对于仪器的整体的不确定度来说是不完备的。整体不确定度包括了溯源链中的全部环节的不确定度:被校准仪器的相对不确定度加上校准器本身的不确定度。

4、置信度水平

置信度也可以说是可信度,它是校准器指标中最关键的因素。它是指在校准间隔结束后有多大比例的校准器超出了指标范围。指标必须保守地,有很高置信度地保证仪器在校准间隔结束时在误差范围之内。例如:X和Y两个厂家提供的校准器。调的指标是10V电压,精度0.019%。Y厂家是10V,0.025%。没有哪个厂家的资料中提供置信度水平以及精度是如何分布的。当问及该问题时,厂家会说明其指标是根据精度的正态分布以及其置信度水平。其回答如表所示:

Vemdor	Stated Spec	Confidence Level
X	0.019%	95%
Y	0.025%	99%

在本例中,如图3所示,校准器的实际性能是很明显的。厂家X使用95%的置信度即在校准时间间隔结束时将有5%的仪器超出所标出的0.019%的指标。灰色阴影和黑色阴影所代表的是在正态分布下所冒风险的百分比。厂家Y使用99%的置信度水平,在给出的0.025%的指标下只有1%的仪器超标。黑色阴影是其风险性。所以你可以看到,同样性能的仪器可以得出不同的指标。它取决于厂家是激进地还是保守地公布其仪器的指标。

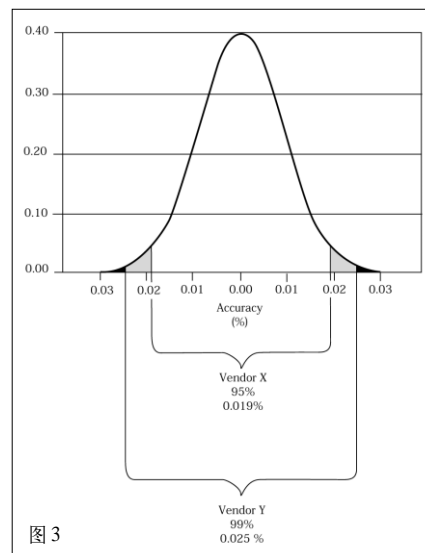


图3

Figure 3. Same performance, different specifications.

在购买仪器之前,了解厂家的置信度原则是非常重要的。并当你对此有疑问时可以让厂家澄清。Fluke对其生产的校准器和标准源使用非常保守的99%的置信度原则。

其它要考虑的因素

精度指标对决定所购买的仪器是否满足需要是很重要的。然而还有很多其它因素决定了仪器是否能满足你的应用。下面是一些说明。

1、工作负载

要记住,校准器的指标要满足你工作负载的需求。现在有一种倾向是,用户追求一些指标非常诱人的仪器,而这些指标所适用工作负载确少的可怜。

2、支持的标准

校准器所支持的标准,典型的是3至10倍于被校仪器。这也就是一般的检测不确定度比(TUR)。一些特殊和不经常校准的设备,最好的方法是送到一些专门机构进行校准。

3、厂家的支持

厂家的支持也是很重要的。厂家能否随着校准发展和变化提供新的支持? 能否有专

家提供及时的咨询? 能否提供有关培训? 维修是否方便? 产品是否有连续性以及是否有相应的附件?

4、可靠性

可靠性是另外重要的考虑因素,因为它涉及到仪器的使用性。精密的校准器可能有高的故障率。任何造成仪器超标的情况都会使仪器出现故障。另外当第一次出现故障以后还应问及到平均无故障时间(MTTF - Mean Time To Fail)。由于运输会导致两次故障的间隔时间小于平均故障时间间隔(MTBF)。无论是考虑哪方面的因素都要看其给出的参数是实际经验得到的还是仅仅通过计算得出的。

5、维修原则

当仪器出现故障以后,厂家的维修方法是很重要的。负责的维修机构应迅速作出反应。例如用户能否及时和厂家取得联系,维修站是否有零备件存储,是否有维修手册以及提供培训等,这些都涉及到仪器能否迅速获得维修。

6、声誉

最后,厂家的声誉也应考虑。总而言之,厂家声称的性能,指标以及维修有多么可

信? 该厂家5年之后是否还存在? 所有这些问题都决定了使用和保有这些校准器的真正费用。

技术术语

1、精度

测量值与真实值之间有多大的差别。经常用读数或量程的百分比来表示。

2、置信度

正态曲线下的面积的百分比是置信度区域。如果从-2至+2的两个标准偏差就得到95%的置信度,Fluke用99%或更高的置信度来标明其仪器的指标。

3、迟滞

同一个测量点的两个测量值的最大差别,一个值是从零点开始,而另一个是从满度点开始。该测量是在同一个连续的周期完成。偏离值用满度的百分比表示。

4、噪声

随机电压或电流的干扰,它会影响信号的测量。

5、非线性

根据线性输入而得出的输出的偏差。

6、可重复性

在相同环境,例如温度,湿度,压力以及时间下校准器的输出的一致程度。

7、分辨力

在一定量程上可以测量或可以产生的最小的单位。对校准器,它一般是指其输出信号的最小改变量,或在测量功能时测量的最小值。

8、测量不确定度比(TUR)

一个校准器在一点上的测量不确定度比是被测仪器不确定度的值除以校准器的不确定度指标或对其测试的标准的指标。仪器的指标必须反映同样的置信度。

9、溯源性

它是校准的一种特性,与人类的血缘关系类似。可溯源的校准是指每台测试仪器,校准器以及标准都可一级一级延伸至国家标准,逐级校准,其结果有文档备案。备案的文件提供了所有逐级的校准过程都是正确执行的。