

利用多产品校准器 校准功率计

应用文章

现代化的技术、政府法规及商业趋势正不断推动功率计校准的需求越来越旺盛。

本应用文章介绍最佳实践指南，包括关于功率校准的说明：

- 基础
- 方法
- 趋势
- 标准
- 技术指标
- 工作管理

文章还介绍了 Fluke Calibration 55XX 系列多产品校准器是如何满足这些要求的。

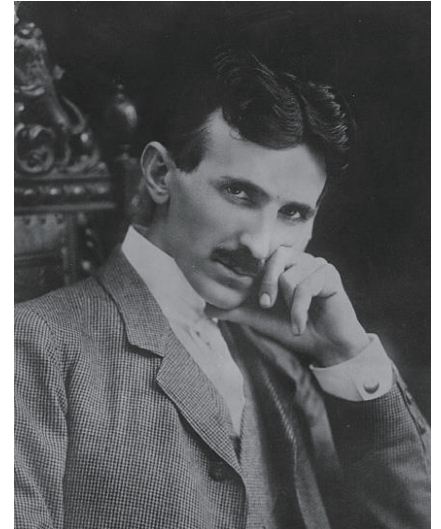
Fluke Calibration 55XX 系列多产品校准器设计用于校准各种各样的电气测量工具，快速而简便。与 Fluke Calibration MET/CAL Plus 校准管理软件配合使用时，55XX 系列多产品校准器还能简化校准流程，出具校准报告。

历史渊源

托马斯·爱迪生(Thomas Edison)开发了采用并联线路的直流配电系统，当串联电路中的某个灯泡关闭时，电路不会断开。1882年纽约市建造的第一套中央电力系统就直接以爱迪生的规划为基础。

大概也在那时，一位聪明的克罗地亚人尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla)在巴黎开发了一套交流电系统。他通晓 12 种语言，于 1884 年携带少量资金只身来到纽约。特拉斯开始为爱迪生工作，但两人关于电力中使用直流电还是交流电的意见不一致，很快就分道扬镳了。特拉斯将自己的系统卖给了乔治·西屋(George Westinghouse)，这引发了爱迪生和西屋之间的矛盾。然而，事实证明，由于交流电更容易发电，并且配送电时损耗较低，所以交流系统更好。1893，西屋通过为芝加哥的哥伦比亚世博会提供照明，非常壮观地证明了这一优势。结果导致美国尼亚加拉大瀑布(Niagara Falls)水电站选择了交流电。

现在，我们的工作几乎没有不受电力影响的方面。尽管技术是成熟的，但发电、配送电和用电正在发生天翻地覆的变化。福禄克计量校准部设计的 55XX 系列校准器简化了常用电气测量和分析仪器的校准，并提高了效率。



尼古拉·特斯



托马斯·爱迪生

功率测量基础

功率、电压和电流

大多数功率计独立测量电压和电流，以瓦特为单位显示功率。大多数电压表采用机电或模/数转换技术确定电压幅值。电流以安培(A)为单位进行测量，测量方式有两种：

- 许多仪表使用钳在电力线上的感应线圈。该电流钳可以是独立的，也可以是仪表的一部分。线路中的电流在电流钳中感应一个成比例的电压(一般为 1 mV/1A)。
- 然后仪表测量电压。
- 对于较小的电流，电力线中的电流可通过仪表中的分流电阻，测量的是分流电阻上的电压降。

有些电流/功率钳直接测量真功率，为仪表提供一个成比例的电压。

相位、谐波和频率

相位偏移

负载或线路电抗造成交流电流相位发生偏移，不再与电压严格同相；电流比电压超前或滞后。发生这种情况时，送至负载的有效能量或功率减小。现代化的功率计除了瓦特外还提供相位角和/或功率因数指示(见图 1)。

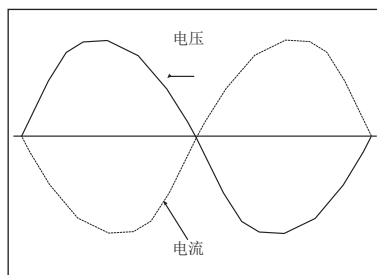


图 1. 电流和电压之间的相位差造成交付的视在功率变化。

谐波

现代化电子设备吸收电流的方式为突发脉冲，而非平稳的正弦波方式。这会造成电流波形失真，进而引起较高频率的谐波电流流入至电力系统的其他部分。谐波会造成变压器和中性线过热、断路器跳闸，以及影响计算机和感应电机。

谐波频率是基频的整数倍。部分供电电流的频率为谐波频率。往往大部分谐波能量为 3 次谐波，较小能量为高次谐波。(见图 2)。

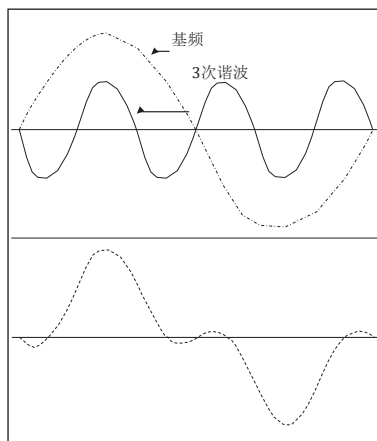


图 2. 谐波失真图示

为确定是否发生谐波失真，首先用平均响应仪表测量电流，然后再利用真有效值仪表测量电流(真有效值仪表响应谐波的方式不同于平均响应仪表)。将第一次测量值除以第二次测量值。如果比值为 1，则说明谐波失真很小或没有失真。如果存在问题，可用手持式谐波分析仪确定问题的严重程度。

为获得较高效率，配电系统采用三相方式。理想情况下，三相系统中每相的相位差为 120 度(1/3 周)，每条线路的功率为总功率的 1/3。然而，由于负载引起的功率因数、谐波以及负载电流不同，所以三相中每相交付的功率可能不同。此外，三相系统的相续旋转可能不是严格的 120 度，从而产生不平衡。

- **相位角 ϕ** 。交流电流相位偏离电压的角度。
- **有功(真实或有效)功率**。负载使用的功率，对于正弦波，往往表示为 $VA \cos\phi$
- **VA (视在功率)**。供电电压和电流的简单乘积，与供电线路上一致。
- **功率因数**。负载使用的有功(非无功)功率与电力线上的 VA(视在功率)之比。适用于全部波形。
- **向量功率因数**。相位角的 cosine 值，如果相位偏移为 0 则等于 1，如果相位偏移为 90 度则等于 0。术语“相位角”和“功率因数”可互换使用。向量功率因数仅适用于正弦波。
- **虚功率或虚负载功率**。独立输出电压和电流，以模拟实际功率。避免了同时输出高电压和电流。

频率

最常见频率为 50-60 Hz。海洋船舶和航空飞行器往往为 400 Hz。为提高效率，荧光灯内部使用的频率要高得多。

校准功率仪器

高准确度功率计和功率分析仪测量有功和视在功率、功率因数、频率和相位，以及宽频率范围的谐波问题。具有各种显示和计算能力的多种测量功能，已经使这些仪器成为诊断故障、服务和维修的尖端工具。

随着对电力系统检测和诊断的重视程度越来越高，通过校准来确保工具的准确度就越来越重要。功率仪器校准带来了一系列挑战，尤其是较新、较复杂的工具。

大多数校准实验室管理人员都希望用最少的设备、培训和支持成本即可满足要求。55XX 系列多产品校准器就是以这一目的为设计宗旨的。55XX 系列为单台、便携式仪器，是校准单相低频功率计和功率分析仪的完备解决方案。此外，该校准器支持各种其他直流/低频测量工具，包括万用表、电流钳和钳型表、示波器、电子测温仪和热电偶模拟仪、图表记录仪、面板仪表等。与其他供选方案不同，55XX 系列校准器为单台、便携式、容易使用

的仪器，可同时输出电压和电流(或电压加电压)，具有高精度相位控制、多种波形，以及发生谐波的功能。

双校准器和单校准器方案的比较

校准功率计的一种方法是采用两台或多台仪表校准器。这种方案设置起来很复杂，将两台仪器的相位锁定在一起以及改变相位也都非常困难。此外，部分校准器不具备完全校准有些仪器所需的电压或电流量程。也难以实现自动化。用户也必须购买、维护和校准两台仪器，而非一台。

使用 55XX 系列多产品校准器，单台仪器即可实现功率校准，不存在相位锁定问题。55XX 系列校准器具有相位角/功率因数控制功能，很容易设置向量功率因数或电压与电流之间的相位角。任一输出通道都可以为相位超前或滞后。并且 55XX 系列可输出 1020 V 电压和 20.5 A 电流(20.9 kW)，无需额外放大器即可覆盖最常见的功率计。

当然，使用单台仪器时，用户需要学习或记忆的东西更少，只需要购买、维护和校准一台仪器即可。

55XX 系列如何校准功率计

同时输出电压和电流

Fluke 55XX 系列校准器通过同时向虚负载提供电压和电流，可校准高达 20,910 瓦特的功率计。为了模拟电流钳，将电流转换为电压作为仪表输入，校准器可同时输出两路电压。

用于功率校准的电压和电流能力

为校准功率，55XX 系列的电压量程为 33 mV 至 1020 V；电流量程为 29 uA 至 20.5 A，频率为 10 Hz 至 10 kHz。这种输出能力足以满足大多数手持仪表的校准。

55XX 系列可驱动诸如 Yokogawa 2041 型功率计(便携式、单相、低功率因数功率计)的全部电流和电压量程，无需任何放大器。



Fluke Calibration 5522A 多产品校准器正在校准福禄克电能质量分析仪

校准功率因数

55XX 系列 AUX 输出端子的电压或电流可相对于 NORMAL 输出产生高达 ± 180 度的相移，分辨力为 0.02 度。可选择控制相位角或功率因数。

校准谐波

为模拟输入至功率计的电流谐波，AUX 输出的电流波形可设置为 NORMAL 端子输出的基频的任意谐波(倍数)，最高达 50 次谐波。同时只能输出一个谐波。

频率范围

校准器无需合成器或频率标准源，可提供频率为 0.01 Hz 至 2 MHz 的交流输出。

波形选择

55XX 系列的多功能性在一定程度上归功于其通过 NORMAL 和 AUX 端子输出正弦波、方波、三角波或截止正弦波信号的能力。可独立选择每路输出的波形。有些校准程序可能需要输出非正弦波的电流或电压。例如，截止正弦波能够更准确地模拟电流波形失真的配电系统的真实情况。

如何校准不同类型的功率仪器

确保使用高质量测试线，并且不要使用太长的测试线。导线电阻、电容和电感会产生误差。注意连接方法。如果接地线互相连

接，会形成环路，电流会通过多条通路流至大地，造成电压测量失真。

四端功率计

这些功率计是最常见的功率计，使用数字或模拟显示。电压和电流端子是独立的。电压测量电路测量分流电阻上的电压降，并根据欧姆定律计算电流。许多四端功率计具有测量相位关系的电路，并显示相位角/功率因数。有些装置可能使用感应电流钳测量电流。这些装置具有两路电压输入，电流钳将电流转换为电压，通常为 1 mV/A。Fluke 39 和 41B 功率谐波分析仪就是例子。

将 55XX 系列校准器连接至四端功率计的方法简单、直观(见图 3)。从前面板端子，将校准器的电压和电流输出连接至功率计的电压和电流输入。校准器的操作也简单、直观。将输出设置为电压加电流(至仪表分流器)或电压加电压(模拟仪表电流端子上的电流钳)。

三端功率计

这些功率计实际上有四个端子，但电压和电流的“低”端在内部连接在一起。Yokagawa 2534 和 Valhalla 2100A 为三端功率计。图 4 所示为三端功率计连接的简化图。

如果按照校准四端功率计的方式将 55XX 系列校准器连接至三端功率计，会发生一系列错误。

如果将电压源连接至被测设备的源端，由于通过分流器的电压降测量电流，显示的电压会有错误。例如，如果 55XX 系列校准器输出 100 V 和 1 A，分流器上的压降为 1 V，被测设备将显示 99 V，误差为 1%。这里的方法是将 55XX 系列的电压输出连接至被测设备的负载端。

这种方法存在另一个潜在问题。校准器电压和电流输出的低端在内部连接在一起，除非操作者按下“LOs Open”(低端开路)软键。此外，电流会通过内部保护电流找到流至大地的替代回路。无论哪种情况，电流均旁路分流

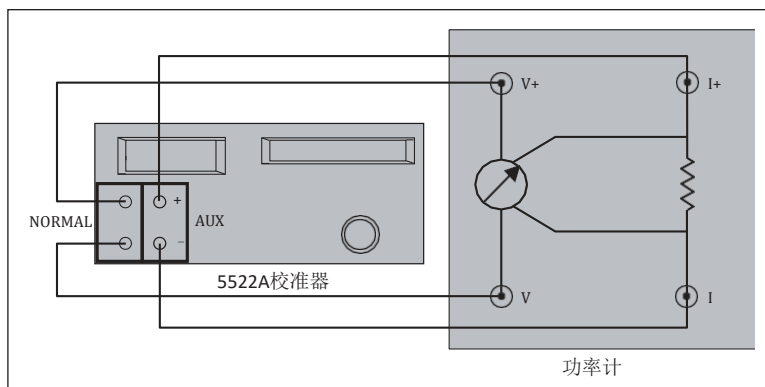


图 3. 将 5522A 连接至四端功率计的方法。

器。被测设备测量的电流较小，并且有损坏校准器的风险。解决方法有点儿反常理。将 55XX 系列校准器电流输出的“Hi”端连接至被测设备的中性线或低端输入，将 55XX 系列电流输出的“Lo”端连接至被测电流输入的+或高端。这解决了接地环路问题，但是由于电流现在反向流过分路器，180 度错相，所以负载呈现负值，也就是输出功率。利用校准器的相位菜单，将相位偏移 180 度，就很容易修正这一问题。此外，将 55XX 系列的电压输出连接至功率计的负载端，这点非常重要。

功率和谐波分析仪

有更加复杂的手持仪器可测量高达 31 次谐波、确定功率因数，以及测量相位关系。这些分析仪以波形或文本格式显示数据，记录一个时间周期内的最小、最大和平均功率测量值。这些仪器比较电压和电流波形、比较波形相位关系，以及分析正弦波质量。功率和谐波分析仪的例子有 Fluke 39 和 41B 功率谐波分析仪。

55XX 系列通过以下方法支持这些工具的校准要求：

- 从 NORMAL 和 AUX 端子产生电压，采用精密相位控制。
- 从 AUX 通道产生 NORMAL 输出电压的 2

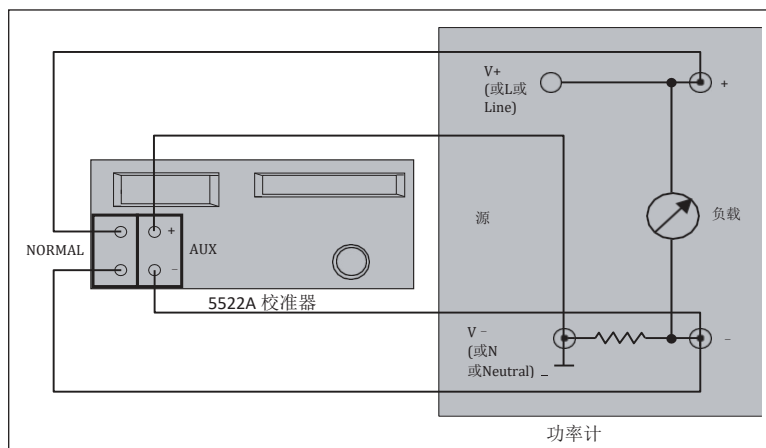


图 4. 将 5522A 连接至三端功率计的方法。注意，5522A 的相位设置需要偏移 180 度，以获得正确读数。

次至 50 次谐波。

- 在任一输出通道选择正弦波、三角波、方波和截止正弦波。

其他设备

除校准功率计和电能质量/谐波分析仪外，55XX 系列校准器的功能还满足各种各样测量设备的校准要求，包括：

- 电流钳和钳型表。
- 数字和模拟万用表，真有效值和平均读数。
- ScopeMeter®示波表测试工具及类似仪器。
- 300 MHz 以下的示波器(模拟和数字)(使用 5500A-SC 选项)。
- 数据记录仪。
- 过程校准器。
- 图表和 XY 记录仪(频率低至 0.01 Hz 的三角波，用于线性度测试)。
- 热电偶和 RTD 型测温装置。

简化校准过程

因为 55XX 系列校准器提供双电压或电压加电流输出、相位控制、多种波形和谐波，所以只需一台仪器即可校准当今使用的绝大部分功率计。该校准器避免了使用多台仪器，不存在将两个电压源或一个电压源和一个电流源的相位锁定在一起的困难，以及匹配输出频率以防失真的问题。全部功能都从单个前面板进行控制，大大简化了自动化。并且降低了校准器的购买及生命周期内的支持成本。



操作简单也增强了操作者的信心，提高了生产力。适用于功率计校准的易用性包括：

- 电压、电流、频率、相位/功率因数、谐波和波形功能的控制简单、直观。
- 控制开关的布局符合习惯，采用从左至右的模式，带有清晰的标签，以及标准数字的 10 键键盘。
- 与被测设备的连接全部在前面板。

控制设置显示在校准器右侧窗口，输出显示在左侧窗口。如果您设置 5 A 100 V，校准器将在左侧窗口显示这些值，将在右侧窗口显示 500 W。

以校准典型功率分析仪 (Fluke 41B) 为例，了解一下这些易于使用的特性：

1. 首先从 55XX 系列校准器的 NORMAL 端子将电压线连接至 UUT 的电压输入端子，然后利用 BNC 至香蕉插头适配器，将校准器的 AUX 端子连接至 UUT 的电流钳输入。
2. 将仪表置于电压和波形模式。
3. 键入 120 V 100 mV 60 Hz Enter OPR (很容易找到 V、mV、Hz、OPR 和 Enter 键)。分析仪将显示大约 12 kW (1 mV/A 时，100 mV 模拟 100 A 的电流钳输入)。分析仪屏幕上

将显示 60 Hz 正弦波。

4. 利用校准器的编辑旋钮选择电压或电流输出，确定仪表误差。转动旋钮，直到仪表显示准确的 12 kW。读取校准器输出窗口中的误差值，以及控制窗口中的误差百分比或 ppm。
5. 按校准器的 PHASE(相位)软键。键入 45 Enter。注意观察电流波形已经移相 45°。这就模拟了相位偏移。注意观察被测设备上显示的功率降低至大约 8.5 kW。
6. 按校准器的 SHOW PF(显示功率因数)软键。控制值显示从 45° 变为 0.707。
7. 按校准器的 Harmonic Menu(谐波菜单)软键，按 HARMNIC(谐波)，然后键入 3，Enter。现在，校准向仪表的电压输入提供基频，向仪表的电流钳输入提供 3 次谐波(180 Hz)。检查确认仪表的读数为 3 次谐波。

标准、溯源性和技术指标

为什么要校准？

测量质量正成为全行业的核心事务。现代化的质量计划和标准重视控制和管理过程。满足要求的首要方法是对这些过程进行有意义的测量。校准使这些测量富有意义。

有意义测量

任何测量要想是有意义的，就必须可溯源至公认的标准，大多数情况下为被测参量的国家或法定标准。这种溯源性通过文档化的一系列比对实现，比对在一个标准与更高准确度的标准之间进行。

趋势

由于其在过程控制中的核心角色，测量量在当今的质量标准中已经得到广泛认可。例子包括 ISO 9000 系列、美国汽车制造商的 QS9000、美国食品和药物委员会的 GMP，以及核管理委员会的 10CFR。这些标准的一个共性是要求充分测量影响量并文档化，可溯源至公认的标准。

技术进步已经使更多的人能够进行更深入的测量及检测故障。55XX 系列校准器的设计理念就是：实现当今各种常用电子测试工具的简单、容易实现的可溯源校准。

技术指标中的真相

许多技术指标难以理解。

- **不确定度。** 一个通常以标称值为中心的数值范围。不确定度以输出或设定值的百万分之几(ppm)或百分比表示。
- **置信度。** 概率的百分比表示，真值将位于不确定度范围之内。一般来说，福禄克的技术指标满足或超过 99%。
- **测试不确定度比(TUR)。** 被测设备规定不确定度与校准仪器的不确定度之比。例如，可接受的 DMM 与多功能校准器 (MFC) 的 TUR 为 4:1。

有些技术指标列出了多种独立因素，所以在组合这些因素时就会无所适从。有时几乎不可能将一台仪器的技术指标与另一台进行比对，因为指标不同。好功率计校准器的技术指标是完善的，容易使用和解释，并充分定义环境和负载效应。声誉良好的厂商会尽量准确而简单地说明校准器性能，不会隐瞒任何性能弱点。

为使 55XX 系列的技术指标更容易使用和解释，Fluke Calibration 将所有的测量不确定度源组合成单一指标：99 %置信度不确定度指标。您可能会说，福禄克编写了关于仪器技术指标的手册。实际上，我们的两部出版文献：*Calibration: Philosophy and Practice* (校准：实践中的哲学)和 *Understanding and Comparing Instrument Specifications* (理解和比对仪器技术指标)，为理解和使用仪器技术指标提供了行业标准指导。

校准过程自动化

进行测量仅仅是校准过程的一部分。校准管理人员还必须保证其过程：

- 步骤一致。
- 具有文档化的、受控的且容易理解的规程。
- 可溯源至公认的标准
- 可快速报告信息。

Fluke Calibration 的可选

软件功能强大、灵活性高且容易自定义，可帮助您以最少的劳动和管理成本满足这些要求。Fluke Calibration 软件提供的便利之处尤其适合于 ISO 9000 文档程序，此时，保存校准记录并评估测试结果有效性是非常重要的程序功能。

校准软件

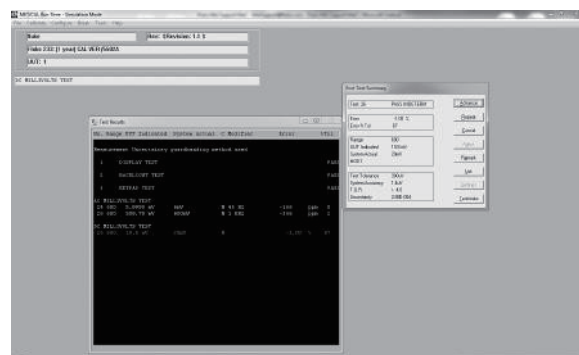
使用 55XX 系列校准器进行校准时，可利用 MET/CAL 校准管理软件实现全自动化。MET/CAL 采用上万个程序实现 55XX 系列及其他校准器的自动化。

MET/CAL 软件支持 55XX 校准器的 RS-232 直通接口和 IEEE-488 接口。

MET/CAL 为用户提供开发、测试和执行校准程序、采集和报告结果及管理校准系统的环境。

MET/CAL 软件提供：

- 满足需求变化的灵活性和增长途径。
- 配置校准程序以满足未来性能要求的能力。
- 测试一致性：每次都以相同的方式校准被测仪器。
- 可靠的文档化：软件产生完整、可读的校准程序。
- 存档校准结果：软件自动记录测量值、计算和记录误差，以及报告结果。



使用 55XX 系列校准器进行校准时，可利用 MET/CAL 校准管理软件实现全自动化。



MET/TEAM 是一款功能强大、基于浏览器的应用程序，用于管理校准器资产和工作流

- 全面的报告：报告格式包括校准证书、概要、详细结果、as-found/as-left 和测试不确定度比、溯源性及校准环境。程序、数据采集功能和报告满足全部的 ISO 9000 ISO Guide 25 及其他要求。
- 提高生产力：Fluke Calibration 软件采用用户熟悉的 Microsoft Windows 用户界面，学习和运行软件都非常容易。软件控制 55XX 系列校准器，并加快执行步骤。软件引导技术人员进行连接、视检及 UUT 控制步骤。并且技术人员无需记录数据。

- 灵活的工作管理：随福禄克计量校准部软件提供的校准程序可覆盖绝大多数示波器校准工作。可以直接使用福禄克校准程序，也可根据当地实验室协议对其进行修改，或者用其编写新的程序。
- 方便的程序开发：如果需要，您可以编写自己的程序，不要求您是一名程序员。校准软件采用模块化方法，创建可读的程序。如果在开发程序方面需要任何帮助，福禄克计量校准部也提供相应的培训。

计量工作管理

MET / TEAM™ 测试设备资产管理软件是一款功能强大、灵活、可升级的校准资产管理软件。该软件是计量专家专门针对计量工作而设计，非常适合需要管理实验室内全部工作流程的专业人士使用。

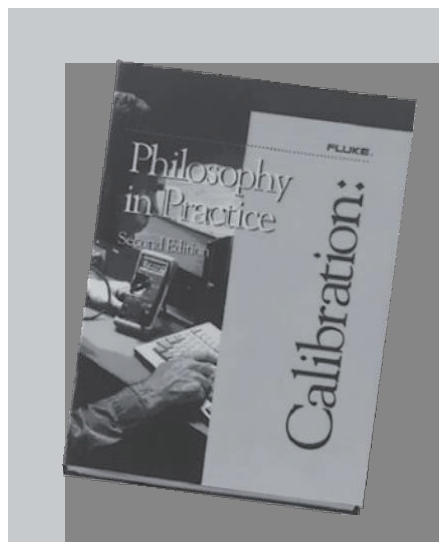
MET / TEAM 软件使您能够：

- 采用无纸化方案管理校

- 准工作的各个方面
- 提高生产力、降低运营费用
- 保证符合监管标准
- 配置和定制业务规则
- 满足各种要求的报告
- 定制维护计划
- 进行批量处理
- 创建、跟踪和关闭工作通知单
- 跟踪在实验室内移动的资产
- 创建和打印校准报告
- 维护审计跟踪
- 管理物流信息
- 跟踪客户和厂商信息
- 查看业务状态
- 创建数据模板及储存程序
- 选择可选模块，可用于现场校准、用户网络门户，以及账单/报价/合同约定价。

培训和技术支持

良好的仪器并不是全部产品。培训和支持服务有助于您利用Fluke Calibration的产品获得最高效率和满意度。



Fluke Calibration “编写校准书籍”。*Calibration: Philosophy and Practice* (校准：实践中的哲学)是一本全面的参考，涉及校准程序、计量要素、校准实验室管理等所有方面。

研讨会和应用课程

利用Fluke Calibration设备获得最高性能和生产力的最佳方式是花几天时间接收最专业公司的培训。关于课程信息、计划和在线注册等事宜，请访问 www.flukecal.com/cal-training。

福禄克公司 计量校准部

中文网址: cn.flukecal.com
英文网址: www.flukecal.com

福禄克中国客户服务中心热线: 400-810-3435
福禄克中国维修客服中心热线: 400-921-0835

Fluke Calibration. Precision, performance, confidence.™

Electrical	RF	Temperature	Humidity	Pressure	Flow	Software
------------	----	-------------	----------	----------	------	----------

