

本文叙述了利用一台传统活塞压力计如何校准液压压力表，并列出了这种方法的一些缺点。本文提出将E-DWT-H数字式压力校准器作为一种更有效的现代化替代方案，并介绍了其特性和优点。

应用

常见的压力校准应用是针对高压仪器的校准，通常为压力表（参见图1）。不同用户对“高压”的定义不同，通常是指满标度范围超过7 MPa (1,000 psi)的设备。由于使用气体所具有的危险性（压缩性很强，储存大量能量）以及产生气体高压的费用和难度，高压校准通常采用液体作为测试介质。这种类型的校准也被称为是液压校准。两种最常见的液压介质有油及水以及酒精混合液。

为了校准压力表，校准实验室需要产生、控制和测量液体压力的硬件。活塞压力计非常实用地将全部三种功能集成到了一台集成式仪器中（参见图2）。

活塞压力计上有一个手操泵，可以压缩液箱内的液体产生压力。操作者可以使用一个可调的微调旋钮逐步调节压力。活塞压力计包括一个活塞-套筒装置，活塞能够在圆柱套筒内上下移动，并且与一个机械装置相关联，用该装置可以手动加载阀门并向活塞施加向下的力。操作者可以向系统施加足够的力量，使套筒内的活塞“漂浮”。施加的力与加载的砝码成比例。被校准的压力计安装到压力校准器的一个端口上，将压力计与活塞并联，并承受相同的压力。当系统“就绪”时，操作者通过比对活塞压力计校准器指示的压力与被校准压力



图 1. 此处所示的高压仪表(例如压力表)往往是采用液压测试介质校准的

计测得的压力进行测量。

活塞压力计如何“测量”压力

活塞压力计实际上并不测量压力，而是让操作者了解或计算系统处于特定状态时的压力。这种状态被称为漂浮，当来自于液压介质的力足以支撑活塞处于漂浮状态时，就达到了这种状态。所产生的压力与加载的砝码所施加的力成比例。砝码能够产生力是因为有重力加速度的存在——该力随地点的不同而不同，并且固定地点的力是一定的。当活塞漂浮时，将活塞的总质量与所加砝码之和(F)除以活塞的面积(A)，即可得到压力(实际是压强)： $P = F/A$ 。由于压力与质量成比例，所以操作者可以通过加载更多的砝码，来重新建立漂浮平衡。

利用压力校准器校准压力表

如上所述，当利用压力校准器校准压力表(或其它类型的测量仪器)时，操作者将压力计与活塞压力计并联，然后同时向两者施加相同的压力。

应用文章

操作者按照预先规定的顺序，每次设置一个测试压力。在每个测试点，操作者记录压力表的读数并计算来自于压力校准器的压力值。

在记录了每个测试点的测试数据后，操作者要判断哪些读数（若有的话）超出了指标容差范围。如果需要调整压力计，操作者要按照规定的程序将压力计调回其跨距内的容差范围之内。然后，操作者再进行第二次测试，确认调整正确，保证压力计在离开校准实验室时保持在容差范围之内。当采用的方法较迟慢或显得笨拙时，这种重复性的过程就放大了校准所需的时间和费用。



图 2. 常规压力校准器产生、控制和测量液压

校准压力表的独特要求

如上所述，在测试过程的每一点，操作者都要将被校压力计的读数与压力标准器给出的压力进行比对。通常情况下，测试过程是压力计跨距内一系列等间距的测试点。典型的测试过程可能会跨越20%至100%，每20%一个测试点。那么对于一个70 MPa (10,000 psi)的压力计，第一个测试点则为14 MPa (2,000 psi)。正常

情况下，当活塞漂浮时，操作者所加载砝码的总重量要产生 14 MPa (2,000 psi) 的压力。

然而，当压力校准器的压力值为标称值时，模拟压力表的指针往往不会正好处于标称点。为了记录模拟压力表的值，操作者就必须用内插法或凭视觉判断两条刻度线之间的值。由于每个操作者的判断会稍有不同，所以通过在每个测试点调整测试压力使指针正好位于标称压力值来进行校准就更合适。利用压力校准器完成以上工作，操作者就必须反复加载非常小的砝码(对应于非常小的压力变化)，每次增加砝码都要重新漂浮活塞，直到指针正好位于标称值。

操作者在整个量程范围内的每个测试点都需要重复以上步骤。

采用活塞压力计校准的缺点

尽管活塞压力计被认为是一种基本标准设备，并且正因为如此才被广泛认为是液压校准的可取解决方案，但是采用它进行校准存在一些固有的缺点。

- 加载小增量砝码直到压力计读得标称测试值非常消耗时间的，效率不高。
- 最小压力增量受限于砝码组的最小值。如果压力计具有高分辨率，直接将其指针定位在某个标称测试点就很困难。
- 可通过内插压力表的读数来替代逐步增加砝码来设置标称压力，但是这样会增加发生误差的几率。
- 有些时候，压力计看起来在规定的测试点已经很明显超出了容差范围，而实际上操作者所加的砝码是正确的。
- 活塞压力计系统不适合现场校准。砝码组重量大，难以携带到压力表现场进行校准。
- 基于相同的原因，将活塞压力计和砝码组运输至上级校准实验室进行年度校准也非常不方便，而且费用昂贵。

技术提示：

预测压力

执行静态压力校准的前提是我们能够预测被测装置的压力。有很多因素会阻碍我们根据参考测量进行这种预测。我们必须确定：

- 避免了漏泄，或者至少将其降低至无关重要的程度。
- 识别判断所有流体的液柱头高度，并进行了修正。
- 参考和测试之间不存在任何阻塞。
- 已经给出了足够的驻留时间，以达到新的系统平衡。
- 测试介质未被其它液体污染。
- 测试装置在校准时已经被正确调零。

- 将活塞面积与砝码相匹配，使每个砝码正好等于给定压力单位下的整数标称压力值。通过适当地配置砝码组，制造商可提供定制砝码组，当压力计单位匹配时，可直接加载该砝码组。然而，压力计的面板是要采用各种不同的压力单位标注的，根据行业、应用、测试系统制造商等等因素的不同，变化会很大。若使用相同的压力校准器校准具有不同压力单位的压力表，操作者要么需要多组不同的砝码组，要么就需要一份转换表，使其能够将原始的压力单位乘以一个转换因子，从而确定压力。

- 由于加载到系统上的力是通过将总质量乘以重力加速度计算得到的，所以操作者就必须知道所在地的重力加速度值。如果压力校准器被应用于现场，用户若需进行有效的测量，就必须了解不同地点的重力加速度值。若砝码组被调整为标称压力值，那么在重力加速度值不同的现场应用中就不能产生标称值。

- 由于活塞压力计本质上是一种机械装置，所以没有比较方便的途径实现自动化。一旦规定了测试点，操作者就必须在数据表中手写数

据，或者手动将其输入到计算机电子表格程序中。

一种更好的解决方案：数字式压力校准器 (E-DWT)

尽管存在诸多缺点，但是传统活塞压力计多年以来已经成为高压、液压校准的不二工具。其低不确定度(准确度)以及集成的结构形式在单台设备中提供了校准所需的三项必需功能(产生、控制和测量)。截至目前，这些特性的重要性也足以掩盖其缺陷，活塞压力计仍然是液压压力表校准的首选方案。

近期，有制造商发布了基于传感器的高压液压监测仪，这些监测仪的测量性能足以作为参考校准标准。从理论上讲，一个校准实验室可采购一台这样的监测仪，然后购买发生/控制附件或者将其连接至压力校准器的发生/控制部分。尽管是可行的，但这样的解决方案需要两个独立的组成部分，其吸引力不足以代替传统的活塞压力计。

最近，随着数字式压力校准器(E-DWT)(参见图 3)的推出，一种新的形式被建立起来。它是活塞压力计的电子式替代方案。

E-DWT-H 包括一个基于传感器的液压参考。一个石英晶体传感器被内置于一个 DHI 石英参考压力传感器(Q-RPT)模块，然后又被安装到一台 RPM4 压力监测仪中。RPM4 压力监测仪则被安装在 E-DWT-H 机箱内。

E-DWT-H 机箱还包括测试液储液罐、



图 3. E-DWT-H 数字式压力校准器是单机式高压液压力计校准解决方案。

用于液体介质填充和建立初始压力的自吸泵、用于产生和设置压力的可变容积螺旋压缩机及一个精调阀，使操作者能够将压力准确设置为被测压力表所示的标称值（参见图 4）。

E-DWT-H 的特性

E-DWT-H 的许多特性都克服了传统活塞压力计的缺点，使其非常适合于校准液压测试设备。

- 压力范围高达 200 MPa (30,000 psi)。传统压力校准器的最大压力通常为 70 MPa 或 100 MPa (10,000 或 15,000 psi)。所以 E-DWT-H 能够提供校准实验室之前所不具备的校准能力。
- 由于具有内置自吸泵，可变容积螺旋压缩机构在单次完整的活塞行程下即可产生最大测试压力。这样就无需通过隔离可变容积后从液箱中抽吸更多的液体来产生更大的压力，使操作者避免了繁琐的过程。若单次冲程不足以产生最大压力，采用可变容积压力发生附件时就可以解决这一问题。此外，E-DWT-H 可变容积机构是一种高质量的低扭矩装置，能够在任何压力下方便地精调压力，并且还提供了一个用于较大容积测试系统的选项。
- 用户可以方便地选择及更改压力单位。
- 压力精调阀门使操作者可方便地将测试压力准确设置为任意压力值上（如整数刻度线）。设定压力点的压力达到稳定后，操作者只需从

E-DWT-H 的压力显示中读取数字参考压力即可。这样就无需再通过反复添加砝码来定义不同的测试压力。

- Q-RPT 模块的参考不确定度在参考传感器量程的 10%到 100%范围内均为 $\pm 0.02\%$ 读数。覆盖因子 $k = 2$ ，该指标适用于全年。E-DWT-H 可内置第二个 Q-RPT 模块来将读数百分比不确定度扩展至更低压力。当第二个 Q-RPT 模块量程为高量程 Q-RPT 模块量程的 10%时，E-DWT-H 在最大量程的 100% 到低至 1%范围内的不确定度可达到 $\pm 0.02\%$ 读数。例如，如果用户选择一个 200 M (30,000 psi) 和一个 20 M (3,000 psi) 的 Q-RPT，这种配置以单台仪器的形式在 200 MPa (30,000 psi) 到 2 MPa (300 psi) 的范围内达到的年不确定度为 $\pm 0.02\%$ 读数。
- E-DWT-H 总是显示实际参考压力。操作者不再需要担心加载正确的砝码以及进行计算和比对。
- E-DWT-H 的参考传感器 Q-RPT 不受重力加速度的影响。所以，操作者无需知道使用地点的重力加速度。E-DWT-H 在用户的校准实验室和校准现场的工作方式是相同的。
- E-DWT-H 重量轻 (15 公斤或 35 磅)，金属外壳焊接有凹槽，可作为把手搬运和携带。这使其非常适合于现场应用。同时还提供一个带滚

轮的便携式铸模运输箱供选用。

- E-DWT-H 由标准的交流电压供电。使用可充电电池组附件使其可应用于没有电源的现场环境。

E-DWT-H 的数字特性所具备的独特优势

以上所述特性都使 E-DWT-H 在克服传统活塞压力计的局限性方面具有明显优势，除此之外，其数字式特性还使操作者能够进行二次开发，进一步改善效率和测试结果。

- E-DWT-H 提供了直观的就绪指示，使操作者知道什么时候记录参考压力。该指示基于实测压力的稳定度，并且可被设置为实验室主管确定的数值。利用这一特性，所有的用户都能获得具有重复性的结果。
- E-DWT-H 的嵌入式软件包括了一项自动测试 (AutoTest) 功能，使操作者能够定义测试序列，然后由 E-DWT-H 逐步指导完成测试。在每个测试点，E-DWT-H 都记录参考压力并将其与标称表压进行比对。然后将差值与被测表压的可接受容差进行比对，确定测量结果是否在容差范围之内。这一特性还有助于保证所有用户的测量结果都是一致的。通过 E-DWT-H 的 RS-232 通信接口，可以用一台 PC 机通过远程接口下载测试结果。
- 记录和评估数据的一种更先进的替代方案是通过基于 PC 机的校准软件进行测试。利用 E-DWT-H 的 RS-232 通信接口，用户可从 PC 机软件运行测试，并以电子方式记录测试数据和其它相关参数。利用保存在测试文件中的数据，校准软件可以生成自定义的校准报告。DHI 提供了 COMPASS 校准软件来实现此功能。

结论

传统的活塞压力计一直是校准压力表常用的标准器。尽管存在诸多缺点，但由于它具有非常低的不确定度，且单台仪器即可实现压力发生、控制和测量功能，所以这一趋势仍将继续。

现在，有一种新的解决方案可供选择，这就是 E-DWT-H（数字式压力校准器）。E-DWT-H 不仅具备传统活

塞压力计的优点，而且还克服了它的大多数缺点，大大提高了实用性。



图 4. E-DWT-H 的精调阀使操作者可将压力准确设置为被测压力计的标称值

E-DWT、E-DWT-H、RPM4 和 COMPASS 是 DH Instruments 的商标或注册商标。DH Instruments 是 Fluke Company 的一个子公司。

由于产品的持续改进，此处所述的产品指标、说明和特性如有改动，恕不另行通知。

| | | | | |
|---|---|--|---|---|
| 美国福禄克公司 中文网址: www.fluke.com.cn 英文网址: www.fluke.com | | 福禄克，助您与时代同步！ | | |
| 北京办事处 地址：北京建国门外大街 22 号 赛特大厦 2301 室 邮编：100004 电话：(010)65123435 传真：(010)65123437 | 上海办事处 地址：上海市长宁区临虹路 280 弄 6 号楼 3 楼 邮编：200335 电话：(021)61286200 传真：(021)61286222 | 广州办事处 地址：广州体育西路 109 号 高盛大厦 15 楼 B1 座 邮编：510620 电话：(020)38795800 传真：(020)38791137 | 成都办事处 地址：成都市人民南路四段 19 号 威斯国际大厦 17 楼 K-N 座 邮编：610041 电话：(028)85268810 传真：(028)85268988 | 西安办事处 地址：西安市二环南路西段 88 号 老三届世纪星大厦 20 层 K 座 邮编：710065 电话：(029)88376090 传真：(029)88376199 |
| 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 邮编：110003 电话：(024)23286038 传真：(024)22813667 | 重庆联络处 地址：重庆市渝北区北部新区星光大道 62 号 海王星科技大厦 B 区 6 楼 3 号 邮编：401121 电话：(023)86859655 传真：(023)86238685-9699 | 深圳联络处 地址：深圳市福田区深南中路 华能大厦 1101 室 邮编：518031 电话：(0755)83680050 传真：(0755)83680040 | 武汉联络处 地址：中国武汉建设大道 518 号 招银大厦 1611 室 邮编：430022 电话：(027)85743386 传真：(027)85743561 | 北京维修站 地址：北京建国门外大街 22 号 赛特大厦 401 室 邮编：100004 电话：(010)65286306 传真：(010)65286307 全国免费服务热线：4008103435 |