

# 控制精度为何如此重要

## 引言

压力控制器/校准器常用于校准压力测量仪器或现场压力校准装置。压力控制器/校准器一般具有控制硬件和一套精密的压力测量传递标准(传感器), 由于其通常被用于向被测器提供一个受控的压力, 并将该压力下参考压力传感器的测量值与被测器的测量值进行比对, 所以往往被简称为“压力控制器”。

压力控制器/校准器的性能往往是根据校准器内采用的参考压力传感器的测量精度和不确定度特性进行评价的。另一项重要的性能指标是此仪器的控制精度, 此类仪器通常都能提供该项指标, 但有时重视不够。实际上, 控制精度对用户能够实现的校准准确度有直接影响。如本文所述, 在有些情况下, 控制误差会变得与测量不确定度相当。伴随着最近用单台校准器/控制器覆盖多个压力量程的趋势, 控制精度的重要性日益提高。

## 压力控制的类型

在使用压力控制器/校准器时, 用户在测试中通常有两种控制类型可选择。

**静态控制**, 有时也称为被动模式或测量模式, 该模式利用压力控制器将测试系统压力调整至接近相应的测试点, 直到达到接近目标压力的极限范围。此时, 当由于压力快速变化引起的效应或其它瞬态效应降低至正常水平后, 将参考压力传感器和被测器的测量值进行比对。当用户或校准器/控制器(利用编程预设的标准)认为压力足够稳定, 能够获得良好的测量结果后, 读取数据。



PPC4 压力控制器/校准器

福禄克公司 DHI 压力校准部的 PPC4 控制器/校准器在静态控制模式下有一个控制保持限值(参见图 1),但它通常被设置用来在等待压力稳定时使压力不会偏离标称值太远。在这种情况下,由于温度变化、瞬态压力效应或系统漏泄的原因,参考和被测器的示值会一定程度上偏离要求的目标压力。因此,就无法保证数据是在标称测试点读取的,或避免压力示值的漂移。在此状态下控制器不主动控制压力,除非压力超出控制保持限值。

**动态控制**,或主动控制,最常用于使用压力控制器/校准器进行校准。在该模式下,控制器将测试系统内的压力调整至所要求的目标压力,并且在记录参考或被测器的测量值时继续主动将压力控制在目标值附近。在动态控制模式下,由于控制器克服了瞬态压力效应,在短时间(通常不到 30 秒)形成相对稳定的压力,所以能够使校准更快捷。利用动态控制,可在标称压力值准确设置校准点,这对于有些用户来说是程序要求。

## 与静态和动态控制相关的不确定度分量

在动态控制模式下,控制器维持稳定、精确压力的能力直接影响参考和被测器压力测量值的比对质量。相比之下,静态控制引起的不确定度仅与压力管路的漏泄情况、瞬态和环境变化有关。

静态测试模式看起来具有能够消除动态控制模式引起的所有不稳定因素的优势。那么,从理论上讲,参考和被测器在比对时不会存在除每一测量装置之外的任何附加误差。

但是静态控制和动态控制的不确定度之间有一项重要差别,是压力均值的标准偏差。当压力控制器工作在动态控制模式下时,控制稳定度为被认为是随机的,压力均值的标准偏差计算中将除以采样点数(n)的平方根;相反,在静态控制模式下,压力将以稳定速率向某一个方向移动,稳定度就不是随机的,标准差就不会以除以“n”的平方根。因此,精确动态压力控制产生的不确定度就很小。

所以,除了控制速度快以及能够将压力维持在目标压力点的好处之外,动态控制模式也因其可以减小不确定度而被广泛采用。

## 动态控制精度和压力不确定度

用来描述控制器/校准器能够将系统压力保持在目标值附近最小范围的技术指标被称为控制精度。该指标也被称为控制稳定度或控制误差。由于当受控压力在规定的限值范围之内时,控制器/校准器通常仅显示所需的标称压力,并且操作人员并不知道压力实际上处于限值范围内的什么具体位置,所以控制精度引起的不确定度与测量分辨率引起的不确定度相当。

对于 PPC4 控制器/校准器,规定的控制限值被称为保持限值(参见图 2)。保持限值是用户可调的,但是我们可以认为在 PPC4 的量程之内可用的最小保持限值等于其控制精度指标,也就是当前 Q-RPT 量程的 $\pm 0.0004\%$ ,或

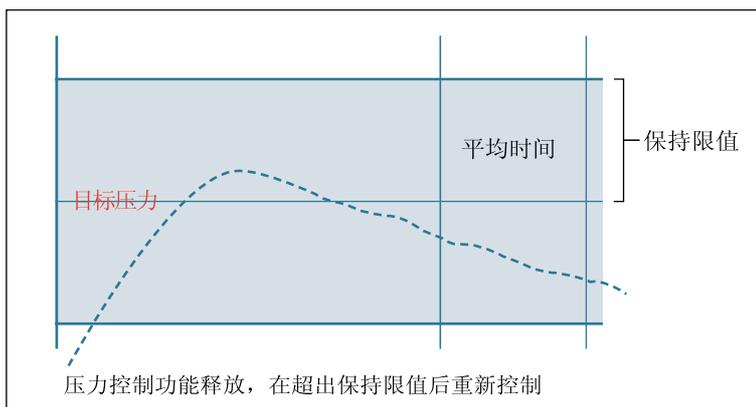


图 1. 静态压力控制

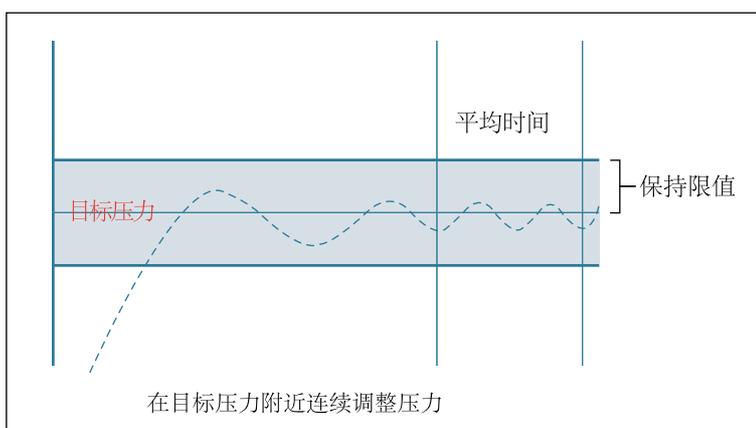


图 2. 动态压力控制

Hi Q-RPT 量程的 $\pm 0.00004\%$ ,取较大者。注: Q-RPT 是 Fluke/DHI 专有的参考压力传感器模块的名称。

PPC4 控制器/校准器可计算并实时显示输出压力不确定度。输出压力不确定度定义了施加到被测器上的压力总不确定度,包括参考测量不确定度和控制精度引起的误差。

我们可以做一个与输出压力不确定度相关的假设:在被测器误差计算中被作为参考压力的数值是标称目标压力,在动态模式下读取数据时,该值被显示在控制器/校准器上。利用 PPC4,在动态控制模式下,通过利用基于 PC 的软件从远程接口读取数据,就有可能记录和平均从参考压力传感器上实测的压力值。采取这种方式,控制稳定度引起的不确定度仅与上述的均值的标准差有关。

但是由于在实际应用中常将设置的目标压力作为参考压力,所以在这种情况下考虑控制精度的影响是非常有用的。

为简便起见,下例中仅标出由于控制精度引起的计算误差,并未标出总体压力不确定度。在 DHI 的技术文献 8050TN11 中提供了一个关于如何将控制精度和测量不确定度进行适当组合来计算能够实现的压力不确定度的实例。

## 控制精度实例

就测量不确定度和控制精度来说，各个厂家的控制器/校准器的技术指标各有不同。PPC4 控制器/校准器除了能够实现最小的测量不确定度之外，其± 4 ppm (± 0.0004 %) 的动态控制精度也是独一无二的。竞争对手提供的典型控制精度为± 10 ppm。作为这种差异的意义的一个简单实例，表 1 中仅标出了在低至校准器当前参考压力传感器量程的 10 % 的压力时，控制精度引起的不确定度。如 DHI 的技术文献 8050TN11 中所述，不确定度贡献计算为：

$$\frac{2 \times \text{控制精度指标}}{\sqrt{3}}, \text{ 包含因子 } k=2$$

控制精度为± 10 ppm 的控制器在量程 10%处，由控制精度引起的控制误差为读数的± 0.012%，已经大于某些产品的精密控制器/校准器的整个测量内不确定度。这说明要

在较宽压力范围内实现精密测量，必须在非常精密的控制性能支持下才能实现。

## 多量程和控制精度

在有些型号的控制器/校准器中，系统中包含多个参考压力传感器，从而扩展校准器的准确测量范围。在这种量程扩展方式中，有一点非常重要，那就是提供的动态控制精度足够支持用户预期的测量不确定度。

在提供多量程的型号中，控制精度通常被表示为当前参考传感器量程的百分比。由于满足这些指标所需的控制精度性能的原因，有些型号不提供多量程，而其它型号则将范围限制为 10:1 的量程比，但是 PPC4 的专利控制模块的控制精度为±4 ppm，从而利用单个控制器，只需一个测试端口即可提供真正可用的多量程性能。

控制精度对动态控制误差的影响		
实例：1000 psi (7 MPa) 参考传感器量程		
@ 1000 psi (7 MPa)	PPC4 (± 4 ppm 控制精度)	典型产品 (± 10 ppm 控制精度)
控制误差	± 0.005 psi	± 0.012 psi
控制误差, % 读数	± 0.0005%	± 0.0012%
@ 100 psi (700 kPa)	PPC4 (± 4 ppm 控制精度)	典型产品 (± 10 ppm 控制精度)
控制误差	± 0.005 psi	± 0.012 psi
控制误差, % 读数	± 0.005%	± 0.012%

表 1. PPC4 的控制精度为± 4 ppm，大大降低了动态控制误差。