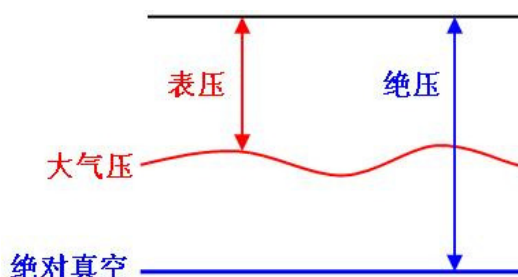


如何保证数字压力标准在表压/绝压 测量模式转换的准确度

——PPC4 先进的测量模式转换技术

一、定义

工程中常用的压力测量仪表主要分为两种类型：表压型和绝压型。表压是指以大气压力为参考点，大于或小于大气压力的压力，通常用 **G** 表示；绝压是指以绝对真空为参考点的压力，通常以 **A** 表示。如右图所示。可以看出，表压和绝压的关系是：



$$\text{绝压} = \text{表压} + \text{大气压}$$

由于被检表中存在表压型和绝压型两种，所以在使用数字压力标准对被检表校准时，需要标准器既可以测量绝压又可以测量表压。目前可以实现表压和绝压测量的数字压力控制器（或数字压力计）很多，通常是通过增加大气参考选件，或者外配大气压计实现。但以上两种方式在进行压力模式转换时，受到其大气参考的准确度影响，都将引入较大的相对不确定度，势必影响整个校准结果。

二、问题分析

以目前较为常见的数字压力控制器为例，其使用的参考传感器大多为表压型压力传感器。当使用此种仪器测量绝压时，需配置内置（或外置）的大气参考压力计，以测量大气压值。通过将测得的表压值与大气压值相加获得绝压值。这种测量方法引入的不确定度包含两部分：

1. 由大气压计本身精度引入的不确定度。目前常见的高精度大气压力计，其精度最高约为 0.01%，标准大气压值约为 101.3kPa，则由此引入的不确定度为：

$$101.3\text{kPa} \times 0.01\% \approx 0.01\text{kPa} (=10\text{Pa})$$

由于绝压型被测仪表通常量程较小，校准压力点通常在大气压以下，最低可达绝压 1kPa。在进行绝压测量时，随着测量压力的下降，由大气压计引入的不确定度急剧增大，对校准结果的准确度造成极大的不利影响，甚至将导致校准数据和校准结论错误。不确定度见表 1 所示。

测量压力点 (绝压, kPa)	由大气压计引入的 不确定度 (kPa)	对最终测量结果 引入的不确定度
100	0.01	0.01%
50	0.01	0.02%
20	0.01	0.05%
10	0.01	0.1%
1	0.01	1%

2. 此外，由于大气压计是数字压力计，本身存在漂移。使用性能最稳定的石英式传感器的大气压计，其一年期长期稳定性约为 0.005% 读数；若此大气压计使用的传感器为其他类型的传感器，如硅压阻式传感器，其一年期长期稳定性将更差。虽然大气压力计可以参考更高精度的压力标准设备进行归零调节，单在两个校准间隔（通常为一年）之间时，大气压计是否发生了漂移，发生了多大漂移，漂移值是否已经超出了允许的范围，都是不得而知的。这无疑的高准确度的绝压测量带来极大隐患。

以上分析为使用表压传感器的数字压力控制器测量绝压时的情况。同样道理，如果数字压力控制器使用的参考压力传感器是绝压型，测量绝压时不需使用大气参考，不会引入以上问题；但在进行表压测量时，如果还是采用大气压计测量大气压值，将绝压传感器测到的值减去大气压值得到表压值这种方法，则问题将再次出现，在表压的低压部分准确度同样会受到严重影响，可能导致错误的校准结果。

三、解决方案

根据上述分析，无论使用表压型还是绝压型传感器作为数字压力控制器的参考传感器，都将引入额外的不确定度。那么，如何将此影响降低到最小的水平？

福禄克公司的 PPC4 型数字压力控制器，在由绝压模式转换到表压测量模式时，引入的不确定度为 0.001 kPa (1Pa)，最大程度上减小了模式转换引入的不确定度，对测量结果的准确度有充分的保证。之所以能达到如此优秀的指标，取决于福禄克专有的先进测量技术。PPC4 内置了一个独立的气压计进行动态大气压力补偿测试，能够快速实现绝压、表压、负压工作模式之间的切换而不会对测量不确定度造成明显影响。气压计仅被用来测量在表压模式下大气压力发生的微小变化，因此其随时间的绝对误差和漂移不影响测量不确定度，所以无需对其进行校准。这样就实现了不需要其它硬件或选件即可采用一个绝压传感器实现绝压和表压模式的测量。

具体测量方法为：在表压或负压表压测量模式下，只要 PPC4 处于卸压状态（通大气），测量 $P_{\text{offset,G}}$ 的 AutoZ 程序即自动运行。这样可确保持续自动刷新大气压值 $P_{\text{offset,G}}$ 。表压为测得的绝压 P_u 减去大气压偏置。

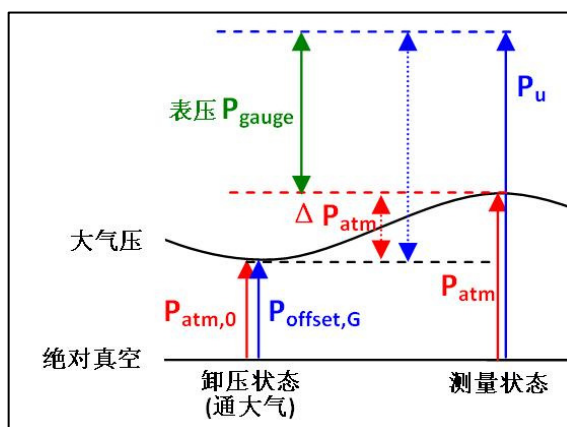
$$P_{\text{gauge}} = P_u - P_{\text{offset,G}}$$

然而，大气压通常并不是稳定不变的，受外界环境变化的影响，测试过程中大气压会发生变化。PPC4 利用大气压动态补偿来修正大气压的变化。当执行 AutoZ 时， $P_{\text{offset,G}}$ 值则被确定了，PPC4 的内置大气压计的读数 $P_{\text{atm,0}}$ 也会被记录。随后，当不再卸压时，大气压自上次 $P_{\text{offset,G}}$ 被刷新以来的变化值 ΔP_{atm} 就是当前大气压计读数和上次执行 AutoZ 时的大气压计读数 $P_{\text{atm,0}}$ 之差。

$$\Delta P_{\text{atm}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{atm,0}}$$

大气压动态补偿功能利用 ΔP_{atm} 修正 $P_{\text{offset,G}}$ 的值，从而总是实时补偿大气压的变化。所以表压 P_{gauge} 测量值为：

$$P_{\text{gauge}} = P_u - P_{\text{offset,G}} - \Delta P_{\text{atm}}$$



PPC4 的绝压型参考压力传感器的表压测量功能可实现在表压和绝压测量模式之间的瞬时转换。表压模式下由于大气压动态补偿技术引起的附加不确定度取决于内置大气压计的分辨力和短期稳定度，而与其绝压测量不确定度无关。该附加不确定度为 $\pm 1 \text{ Pa}$ 。

四、结论

福禄克公司的 PPC4 型数字压力控制器，采用独有的先进测量方法，在进行绝压/表压测量模式转换时，引入的不确定度仅为 $\pm 1 \text{ Pa}$ ，优于其他同类设备十倍以上，最大程度地减小了模式转换引入的不确定度对测量结果的影响。不仅无需在周期检定时对大气参考进行检定，省去了相应部分的检定费用，更重要的是对低压力校准的不确定度有了充分的保障，让用户获得可以信赖的检定结果。