

皮拉尼计和电离规信号线性化处理技术 在超高真空度精密控制中的应用

Application of Signal linearization Processing Technology of Pirani and Ionization Gauge in Precision Control of Ultra High Vacuum

摘要：针对高真空度用皮拉尼计和电离规信号的非线性和线性两种输出规格，为了提高真空度的测量和控制精度，本文提出了线性化处理的解决方案。解决方案的关键是采用多功能超高精度的真空压力控制器，具体内容一是采用控制器自带的最小二乘法多点拟合功能来进行高真空区间的非线性处理，二是采用控制器的数值转换功能对真空度对数线性输出进行相应测试量程转换。此解决方案还可以推广应用于其他具有非线性输出性质的传感器中。

1. 问题的提出

在真空度测量过程中，一般会根据不同真空度范围选择相匹配的真空度传感器。常用的三类真空度传感器是电容真空计、皮拉尼真空计和电离规，这些传感器会对应所测量的真空度输出相应的电压信号，其中电容真空计的真空电压关系曲线为线性，而皮拉尼计和电离规的真空电压关系曲线基本都是底数为10的幂函数，具有强烈的非线性特征，如图1所示。

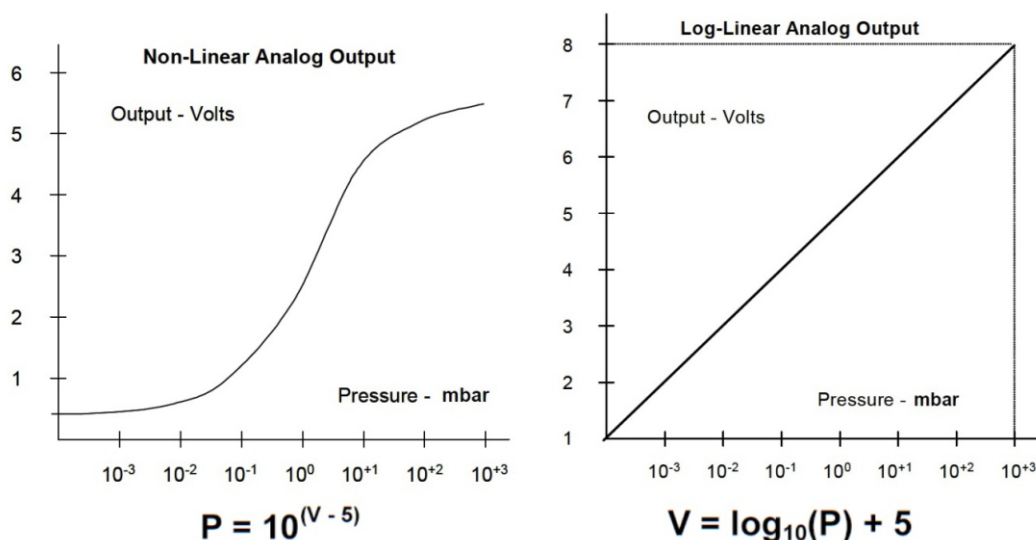


图1 皮拉尼计和电离规的真空度测量与输出电压信号典型关系曲线

皮拉尼计和电离规往往会用在高真空和超高真空范围内的测量，由此这种非线性会给高真空和超高真空范围内的测量带来以下一系列的问题：

(1) 大多数真空测量仪表基本上都采用的是线性电路，以采集真空计输出信号并进行线性转换后进行显示和输出。这种对非线性信号仅进行简单线性转换的方式，势必会给真空度测量带来巨大误差，这也是皮拉尼计和电离规在高真空度范围内测量精度不高的主要原因。

(2) 如图1所示，这种非线性特征是以10为底数的幂函数，因此可以通过对数处理将其进行线性化处理。有些国外厂家的真空计也确实具有这种功能，使得真空度的对数与输出电压值呈线性关系。这种线性化处理的优点是大幅度提高真空计的测量精度，特别是对超高真空度范围内的精度提高更加显著。但这种线性化处理仅是针对真空度到模拟输出信号，如果要对这输出信号进行还原或准确显示真空度，还需后续的处理电路或采集仪表进行反向处理。

(3) 除了上述在真空度测量中存在的如何准确显示的问题之外，更大的问题是在真空度控制中的应用。在真空度控制中，真空计往往是连接到PID控制器的传感器，无论真空计自身是否采用了线性化处理技术，但都要求线性控制形式的PID控制器具有线性化处理功能，而现状是很少有PID控制器具有这种线性化处理的高级功能，这也是制约高真空度范围内控制精度不高的主要原因。

(4) 皮拉尼计和电离规的另一个显著特点是具有气体的选择性，对于不同气体环境下的真空度测量其非线性公式中的常数并不相同，需要根据气体类型进行选择。这种气体选择性特征更加大了真空计输出信号的线性化处理难度和复杂程度，很难采用一种通用电路和仪表来满足大多数不同气体氛围下的真空度测量和控制。

为了解决上述皮拉尼计和电离规的信号非线性和气体选择性特性给高真空度测量和控制带来的问题，本文提出了相应的解决方案，关键是采用具有线性化处理等高级功能的PID控制器。

2. 解决方案

针对现有的各种皮拉尼计和电离规的真空度电压输出信号，包括非线性信号和已经处理后的线性信号，解决方案的核心是采用如图2所示的具有众多高级功能的超高精度真空压力控制器。

此控制器在具有超高精度24位AD模数转换和16位DA数模转换的同时，还充分发挥了微处理器的速度和数据处理能力，在现有各种温度传感器线性化处理的基础上，增加了八点拟合线性化处理功能和数值变换功能，通过相应的面板按键操作或所配软件的设置，可对皮拉尼计和电离规输出信号进行有效处理，可显著改善高真空度范围内的测量和控制精度。

2.1 真空计非线性信号的多点拟合处理

对于皮拉尼计和电离规，在 $0.00001\text{Pa}\sim 0.1\text{Pa}$ （甚至更宽泛）的高真空度范围内，随着压力的增大所输出的电压信号基本是缓慢上升的平滑曲线形式，如图1所示。由此，在此高真空范围内，这也是皮拉尼计和电离规的主要测量应用范围，真空度与电压信号的关系曲线完全可以用多项式曲线来准确描述，本解决方案就是采用此特性来进行多点拟合处理，通过拟合处理实现真空度的高精度测量以及后续의准确控制。



图2 VPC-2021系列超高精度真空压力控制器

VPC2021系列多功能超高精度PID控制器具有特殊的8点曲线拟合功能，PID控制器8点线性化处理功能是通过8组数据组成线性化表，将输入值经过最小二乘法拟合计算产生输出值和显示值。如图3所示，在使用此功能时，所选的输入值（X轴，代表真空计输出的电压或电流值）必须是递增形式，而对应的测量值或显示值可以是递增或递减关系。自定义传感器非线性输入支持以下三种输入类型和对应量程：

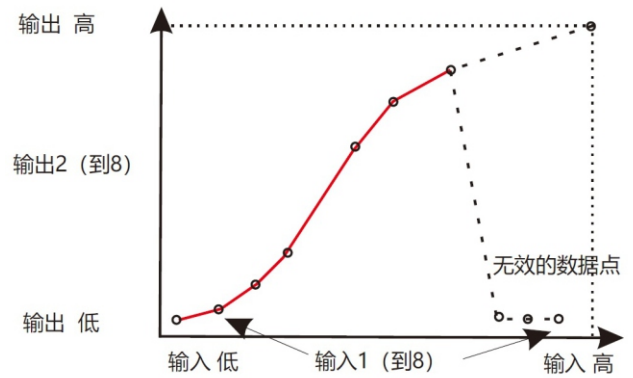


图3 八点线性化处理功能示意图

- (1) 20mV、100mV；(LSB: 0.01mV)。
- (2) 0-10mA、0-20mA、4-20mA；(LSB: 0.001mA)。
- (3) 0-1V、0-2V、0-5V、1-5V、0-10V、2-10V；(LSB: 1mV)。

通过这种多点拟合处理，使得真空度测量和控制具有了以下特点：

- (1) 可提高真空度的测量和控制精度。
- (2) 测量值和控制值可直观的进行准确显示，显示的真空度即为真实的真空度值。
- (3) 可适用于所有皮拉尼计和电离规非线性信号的处理和应用，但局限性是仅适用于变化舒缓的高真空度区间。

2.1 真空计线性信号输出的数值变换处理

个别厂家和型号的真空计其输出信号已经进行了线性化处理，输出信号与真空度的对数呈线性关系。如图1所示，此时对应于纵坐标的电压输出值，横坐标的真空度变化范围是-10~+5；也可以是对应于横坐标的电压输出值，纵坐标的真空度变化范围是-10~+5。

对于不同的皮拉尼计和电离规，这个线性的电压值与真空度对数值范围并不相同，在具体应用中都需要对其数值范围进行修正以形成一一对应关系。采用VPC2021系列真空压力控制器可以很容易的进行这种数值变换处理并形成准确的线性对应关系，这种处理具有以下特点：

- (1) 建立的输出电压和对数真空度的线性关系，可进一步提高真空度控制的准确性，这是因为经过对数处理后放大了真空度测量灵敏度。
- (2) 局限性是这种线性化处理后的显示值并不直观，所显示的真空度为对数真空度。在具体显示和控制时，真空度控制的设定值输入要求也必须是对数真空度，如果要显示真实真空度，还需上位机进行转换。

3. 总结

综上所述，通过本解决方案可以很好的对信号输出非线性特征明显的皮拉尼计和电离规进行线性化处理，可明显提高高真空度范围的测量控制精度，同时本解决方案可推广应用到其它非线性传感器的线性化处理中。