

# 低气压环境试验箱中的高精度真空 压力程序控制解决方案

## High Precision Vacuum Pressure Program Control Solution in Low Pressure Environment Test Chamber

摘要：针对用户提出的低气压试验箱中的真空度精密可编程控制，以及0.001~1000Torr的宽域真空度控制范围，本文基于动态平衡法提出了切实可行的解决方案。解决方案采用了上游控制和下游控制两路独立高精度的PID程序控制回路，基于不同量程的高精度电容真空计，分别调节进气电动针阀和排气电动球阀，可实现各种低气压环境试验箱中高精度真空压力控制。此解决方案已在多个真空领域得到应用，并可以达到±1%的高精度控制。

### 1. 项目背景

低气压试验箱主要用于航空、航天、信息、电子等领域，确定仪器仪表、电工产品、材料、零部件、设备在低气压、高温、低温单项或同时作用下的环境适应性与可靠性试验，并可同时对试件通电进行电气性能参数的测量。低气压试验也是用设备模拟高空气压环境，用来确定元件、设备或其他产品在低气压条件下贮存、运输或使用的适应性。

低气压试验具有很多测试标准可执行，如GB 2423.27、IEC 60068-2-39、B2423.42、GB2423.102、GB2423.26、IEC60068-2-41、GB2423.21、IEC60068-2-13和GJB 150.24A等。在单纯的低气压实验中，这些标准都要求在试验中应达到1kPa的最低压力，其允许差未±5%或±0.1kPa（以大者为准），在84kPa等级时的允差为±2kPa。

最近有客户在上述标准的基础上，对低气压控制提出了更苛刻的要求，具体为以下两点：

(1) 压力变化范围（绝对压力）：100kPa→120Pa→1.05Pa→10Pa→1kPa→100kPa，即要求气压在1.05Pa至100kPa（标准大气压）之间可对腔室真空度进行任意点顺序控制和循环。

(2) 压力变化率：不高于10kPa/min。持续时间：从10Pa到1000Pa变化过程时间不少于20min，最低大气压力（1.05Pa）持续时间不少于10min。

将用户的上述要求绘制成随时间变化的真空度控制曲线，如图1所示。由此可见，要实现上述要求，真空压力的控制需要具有以下特征：

(1) 在1Pa~100kPa范围内可设置任意真空度点进行恒定控制和程序控制，程序控制可由低到高或由高至低，并具有多次循环控制功能。

(2) 程序控制过程中需要真空度按照设定的不同的变化斜率进行精密控制。

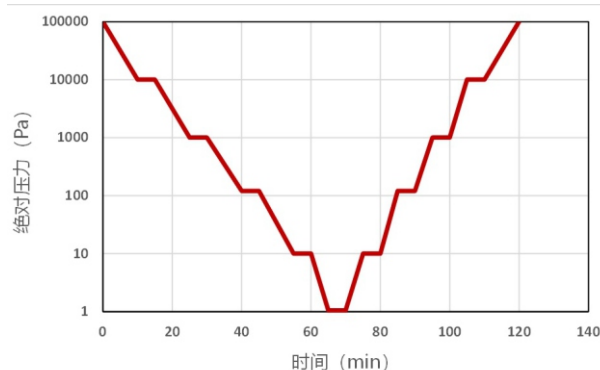


图1 低气压环境试验中的真空度变化曲线

为了满足上述用户提出的高精度真空度程序控制要求，本文提出了如下解决方案。

## 2. 解决方案

首先，按照用户要求，解决方案拟达到的技术指标如下：

- (1) 真空度控制范围：1Pa~100kPa（绝对压力）。
- (2) 真空度控制精度：读数的±%。
- (3) 控制功能：PID自动控制，多个设定点变化速率可编程自动控制，并可多次循环运行。

为了实现上述技术指标，本解决方案所设计的高精度真空度控制系统如图2所示。



图2 低气压试验箱真空度程序控制系统结构示意图

对于在1Pa~100kPa如此宽范围的低气压环境试验箱真空度控制，解决方案基于真空压力的动态平衡控制原理，即通过调节试验箱进气流量和排气流量达到某一平衡状态，从而快速实现不同真空度设定点和真空度变化速率的高精度控制。整个真空压力控制系统主要由不同量程的真空计、电动针阀、电动球阀、真空压力控制器、真空泵、上位计算机和各种阀门管件组成，所组成了两个独立的PID控制回路分别进行上游控制和下游控制，以此进项全真空度范围的控制覆盖。此低气压试验箱真空压力控制系统具有如下功能和特点：

(1) 上游控制模式：所谓上游控制模式就是固定下游排气速率不变而调节控制上游进气流量的一种控制方式，这种控制方法常用于气压低于1kPa的低气压或高真空精密控制。如图2所示，上游控制回路由红色线段示意，此控制回路由10Torr真空计、电动针阀和可编程真空压力控制器组成。在上游控制模式具体运行过程中，控制器采集10Torr真空计信号并与设定值进行比较后，输出控制信号给电动针阀来调节进气流量。需要特别注意的是在上游模式运行过程中，下游真空压力控制器处于手动模式，即下游控制器的输出为一固定电压值，从而是电动球阀始终处于固定开度状态，使得排气流量在低气压或高真空度区间尽可能保持较大的抽速。另外，由于电容真空计对应的是线性电压输出信号，即对应于10Torr真空度电压输出值为10V，0.001Torr真空度是对应的电压输出为0.001V。由此可见在如此小的真空计输出电压信号下要保持较高的测量精度，则真空压力控制器需要配置24位AD、16位DA和0.01%最小输出百分比。

(2) 下游控制模式：所谓下游控制模式就是固定上游进气速率不变而调节控制下游配齐流量的一种控制方式，这种控制方法常用于气压高于1kPa的高气压或低真空精密控制。如图2所示，下游制回路由蓝色线段示意，此控制回路由1000Torr真空计、电动球阀和可编程真空压力控制器组成。在上游控制模式具体运行过程中，控制器采集10Torr真空计信号并与设定值进行比较后，输出控制信号给电动球阀调节排气流量。需要特别注意的是在下游模式运行过程中，上游真空压力控制器处于手动模式，即上游控制器的输出为一固定电压值，从而是电动针阀终处于固定开度状态，使得进气流量在高气压或低真空度区间尽可能保持恒速。另外，由于电容真空计对应的是线性电压输出信号，即对应于1000Torr真空度电压输出值为10V，10Torr真空度是对应的电压输出为0.01V。由此可见在如此小的真空计输出电压信号下要保持较高的测量精度，则真空压力控制器需要配置24位AD、16位DA和0.01%最小输出百分比。

(3) 在图2所示的真空度控制系统中采用了两个真空压力控制器，此两个控制器都具有可编程序控制功能以及设定程序的多次循环运行功能。另外，此真空压力控制器自带计算机软件和具有标准MODBUS通讯协议的RS485接口，通过上位计算机运行软件，就能快速实现整个控制过程的参数设置、远程控制和过程参数曲线的监视和存储。

### 3. 总结

本解决方案将彻底解决低气压试验箱真空度的宽量程和高精度控制问题，并具有以下特点：

(1) 本解决方案具有很强的灵活性，目前本解决方案所控制的是0.001~760Torr真空度范围，如果低气压环境试验箱体积较大或体积较小，可以改变电动针阀和电动球阀的型号，以得到合适的进气流量和排气流量控制。

(2) 解决方案中的真空压力控制器是一款通用性PID控制器，除了具有高精度真空压力控制功能之外，更换温度传感器和流量计后也可以用于温度和流量控制。