

用于昆虫学实验的自动气压室—— 正压和负压精密控制解决方案

Automated Barometric Chamber for Entomology Experiments: the Precise Control Solution of Positive Pressure and Negative Pressure

摘要：昆虫的行为模式会受气压变化的明显影响，为在可控气压条件下的气压室内模拟自然气压变化对昆虫行为进行准确和可重复的研究，需要气压室的气压变化可精确程序控制。本文针对客户提出的气压室压力精密程序控制要求，介绍了高精度真空压力控制仪解决方案。真空压力控制仪采用密闭容器进出气体动态平衡法工作原理，以高压气瓶作为高压气源，真空泵进行抽气，通过双通道真空压力程序控制器采集压力传感器并同时自动调节进气针阀和出气针阀的开度，实现任意设定压力变化程序的精密控制和长时间稳定运行。

一、问题的提出

各种生物体所处的环境会影响和改变其生活方式，这些环境条件主要包括风、雨、土壤成分、辐射、温度和大气压力等因素。大量研究表明，不利的天气条件（通常与气压变化有关）会影响繁殖、摄食和栖息。昆虫行为，如飞行、产卵、寄生、交配和鸣叫等，会受到气压的影响。

对于昆虫行为模式与气压之间的相关性研究，目前普遍采用的方式是在自然条件下进行观察和记录，存在效率低、周期长和不准确等问题。个别实验室使用了手动控制气压的气压室，但存在气压控制不准确、无法长时间的精密模仿自然压力的缓慢变化过程以及可控的气压变化范围很窄等问题。最近有客户希望能对昆虫研究用的气压室进行正负压自动控制，具体要求如下：

(1) 气压控制范围：以一个标准大气压为基准，能够实现气压室的气压在正负压范围内的精密控制，即气压室内的绝对压力在90kPa~110kPa范围内精密可控。

(2) 气压控制形式：可自动模拟自然界大气压的缓慢变化过程，即气压变化可按照任意设定的变化方向和速度进行控制，气压可准确恒定在任意设定点处。总之，整个气压变化过程可按照任意设定的折线形式进行精密控制。

(3) 气压控制精度：在90kPa~110kPa范围内，任意压力下的控制精度小于 $\pm 0.1\%$ 。

为了满足客户提出的上述要求，本文将提出相应的高精度气压程序控制解决方案。解决方案将采用密闭容器进出气体动态平衡法，采用高压气瓶作为高压气源，真空泵进行抽气，通过双通道真空压力程序控制器采集压力传感器并同时控制进气针阀和出气针阀的开度，实现任意设定压力变化程序的精密控制和长时间稳定运行。

二、解决方案

从客户提出的上述要求可以看出，用于昆虫行为研究的气压室压力控制是个典型的正负压力自动控制问题。此正负压力自动控制需要解决以下几方面的问题：

- (1) 正压（压力）和负压（真空）如何形成。
- (2) 正负压自动控制方法和控制仪器。
- (3) 压力传感器的选择。
- (4) 控制阀门的选择。

为解决上述几方面的问题，本文提出的具体解决方案如图1所示。

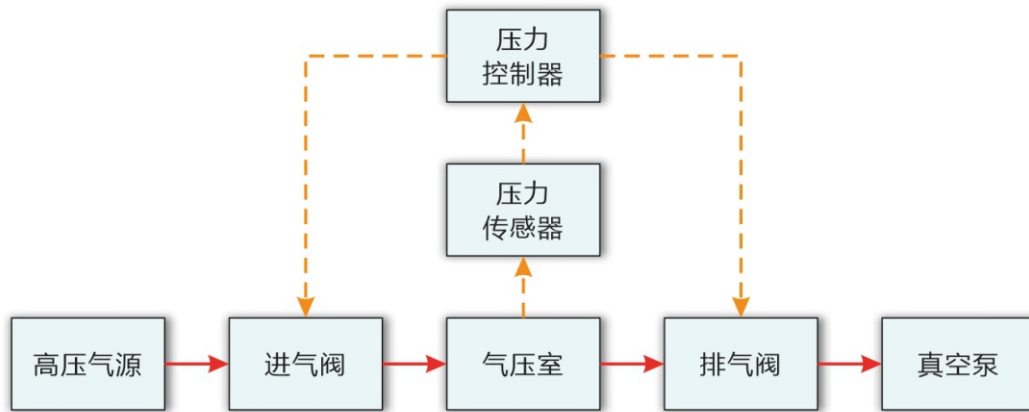


图1 昆虫研究用气压室正负压力程序控制方案示意图

首先，为在气压室内形成正压和负压，解决方案采用了动态平衡法。如图1所示，在气压室的左边进气端布置高压气源，在气压室的右边出气端布置真空泵，如果进气流量大于排气流量则形成正压，若排气流量大于进气流量则形成负压。进气和出气流量通过进气阀和排气阀调节。

对气压室正压和负压的调节和控制，是一个典型的分程控制案例，即采用一个调节器的输出同时驱动几个工作范围不同的执行器。这里的调节器就是图1所示的压力控制器，工作范围不同的执行器是进气阀和排气阀。由此可见，压力控制器要求具有分程控制功能，即要求压力控制器针对不同工作范围（正压或负压区间）具备同时调节进气阀和排气阀开度大小的功能。

另外，为了保证控制精度，所选择的压力控制器为超高精度PID调节器，具有24位AD和16位DA转换器，并具有双精度浮点运算功能，最小输出百分比可以达到0.01%。

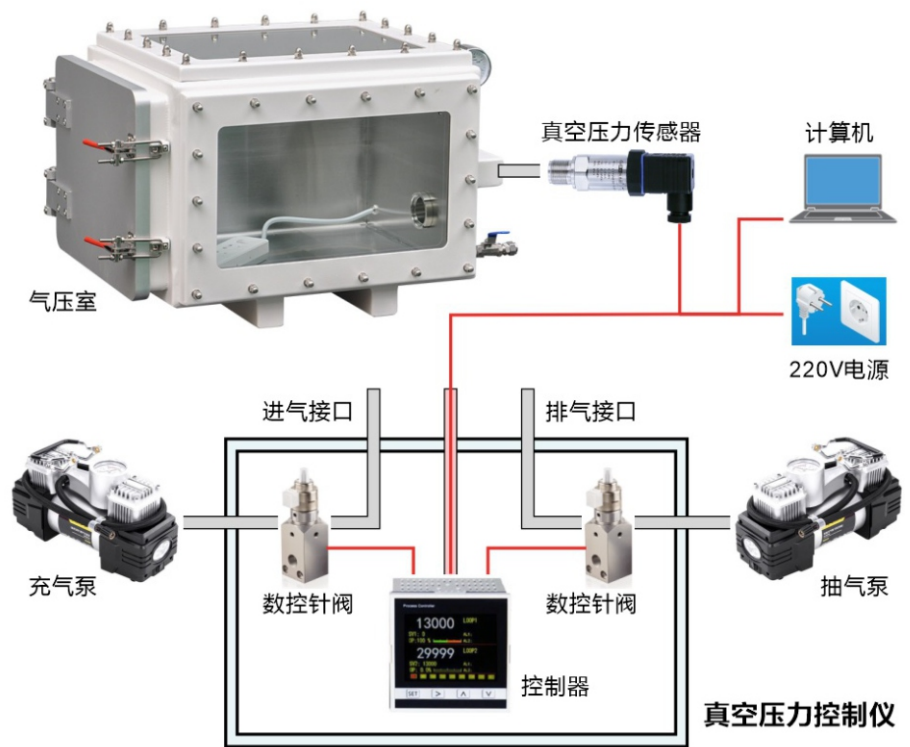


图2 昆虫研究用气压室真空压力控制仪结构示意图

为了保证气压室内压力变化达到客户提出的控制精度，还需要选择高精度压力传感器。如果要达到 $\pm 0.1\%$ 的控制精度，压力传感器的测量精度需要达到 $\pm 0.05\%$ 。

同样，压力控制精度还取决于进气阀和排气阀的调节精度和响应速度。对于体积较小的昆虫学实验用气压室，则要求阀门具有超高的响应速度。我们选择用步进电机驱动的快速电动针阀，电动针阀的全程开启速度为0.8秒，具有超低的真空漏率和7bar的耐正压能力。一系列不同通孔孔径的电动针阀可供选择以满足不同规格尺寸的自动气压室。最关键的是可以使用0~10V（或4~20mA）的模拟信号直接驱动电动针阀，且具有非常好的线性度和重复性。

经过上述选择和配置，按照图1所示的解决方案，所配置的真空压力控制仪如图2所示。

图2所示的真空压力控制仪是一个集成式仪器，将包括数控针阀、控制器、电源等所有部件都集成安装在控制仪内。控制仪两侧留有连接充气/抽气泵的快插接头。控制仪背面留有连接气压室进气/出气的快插接头，同时还留有连接压力传感器、计算机通讯和工作电源的专用接口。

压力传感器以外置形式直接安装在气压室侧壁上，可更准确的检测气压室内的真空压力变化。压力传感器的信号和电源引线连接到真空压力控制仪背面相应的连接器上。这种外置式压力传感器形式更具有扩展性，可根据不同气压室或密闭容器的真空压力控制范围选择不同压力传感器，并便于更换和安装。

计算机通讯采用了具有标准MODBUS协议的RS 485接口，由此可连接计算机。通过PID控制器随机所带的控制软件，计算机可直接遥控PID调节器，并采用软件界面操作进行控制程序设置和运行，对控制过程进行数据采集、存储和全过程结果曲线显示。

三、总结

上述的正负压精密控制解决方案作为一种标准的真空压力控制仪器，除了可以满足昆虫学实验用自动气压室的各项要求外，还具有很强的适用性和可扩展性，主要体现在以下几个方面：

(1) 可进行更大区间的真空压力控制，绝对压力控制范围可覆盖0.1Pa~0.5MPa，具有非常宽泛的正压和负压控制范围。

(2) 在正压和负压区间可实现各种形式的控制，如单独控制正压、单独控制负压（真空度），也可正负压连续控制，所有控制可进行定点控制，也可进行折线编程程序的自动控制。

(3) 可进行更多功能的扩展，如实现不同气体或不同气体含量混合气体下的气压控制，也可用来同时控制其他环境变量，如温度、湿度和光照等。

总之，标准化的真空压力控制仪可满足各种实验室气压室的压强程序控制，并具有±0.1%以上的控制精度。同时，控制仪也适用于各种真空压力容器（如气候室、气候环境试验箱、真空气氛炉、真空干燥箱、旋转蒸发仪、精密低温容器、冷冻干燥箱和各种光谱仪等）的气压精密控制，大大提高了自动化程度和控制精度。