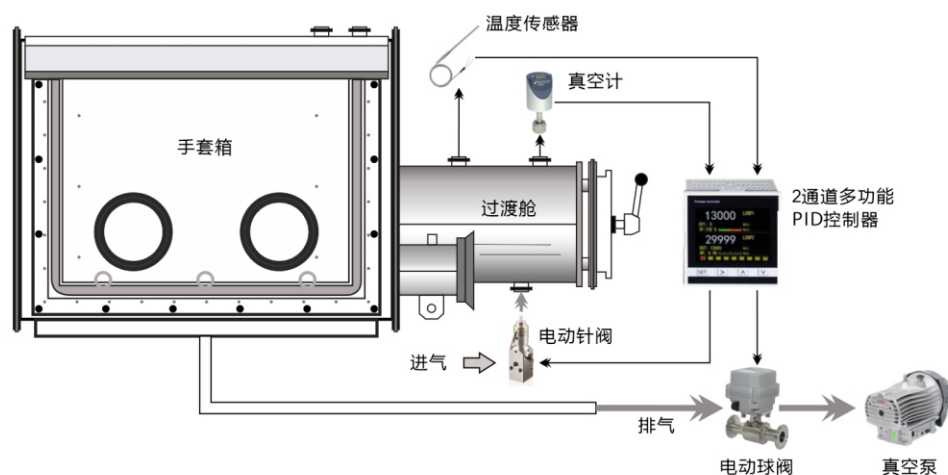


手套箱中真空度和温度控制方法的详细教程

A Detailed Tutorial on Vacuum Degree and Temperature Control Method in Glove Box



摘要：为充分发挥手套箱的强大功能，针对手套箱中真空度和温度这两个环境变量，本文详细介绍了准确测量和控制真空度和温度的一体化解决方案，描述了上游、下游、双向和切换控制模式在不同真空度范围内的具体应用，同时还展示了控制中用到的新型数控针阀、数控球阀和24位超高精度PID控制器。

1. 问题的提出

真空手套箱常用于极易氧化和潮解物质在无氧无水环境下需要人工操作的化学反应、材料处理和性能测试，功能十分强大。手套箱的核心功能是提供真空环境和便于人工操作，但在目前的实际应用中，大多只用了手套箱的无氧环境和人工操作功能，并没有充分发挥手套箱的作用。手套箱更强大的应用还体现在以下两方面：

(1) 真空手套箱是一个密闭式环境箱，极限真空度一般都可以达到10Pa左右，由此可以将手套箱内的真空度按照要求控制在10Pa至一个大气压之间的任何设定点上，这就可以进行各种对真空度敏感的化学反应、试验和测试，并便于在不改变和破坏真空环境的条件下进行各种人工操作。

(2) 除真空度外，温度也是很多反应、试验和测试的另一个重要环境变量。在手套箱中放置相应的加热装置，就可以进行温度和真空度复合环境下的各种试验研究。以此类推，还可以配置其他物理量环境条件，形成多种边界条件下的多物理量耦合试验条件。

为充分发挥真空手套箱的强大功能，针对手套箱中真空度和温度这两个环境变量，本文详细介绍了准确测量和控制真空度和温度的一体化解决方案，并针对不同真空度范围介绍了真空度控制过程中的上游、下游和双向控制模式。

2. 手套箱的真空度控制

手套箱属于一种低真空环境腔体，采用机械泵一般手套箱的真空度最高可达绝对压力10Pa左右，通过抽真空和充惰性气体，由此手套箱的真空度可以控制在10Pa至一个大气压（绝对压力0.1MPa）的范围内。在如此跨越四个数量级的真空范围内进行控制，会根据实际需要采用不同精度的真空度传感器，相应就有不同控制模式。以下为各种控制模式的具体内容。

2.1 上游控制模式

如图1所示，在保持下游真空泵抽速恒定的条件下，上游控制模式是根据真空计测量信号，通过PID真空压力控制器调节上游进气口电动针阀的开度，即通过控制进气流量使手套箱内的压力控制在设定值。上游模式常用于高真空度控制。

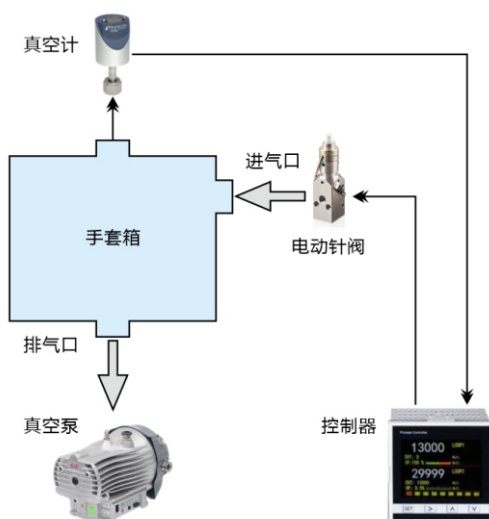


图1 上游控制模式结构示意图

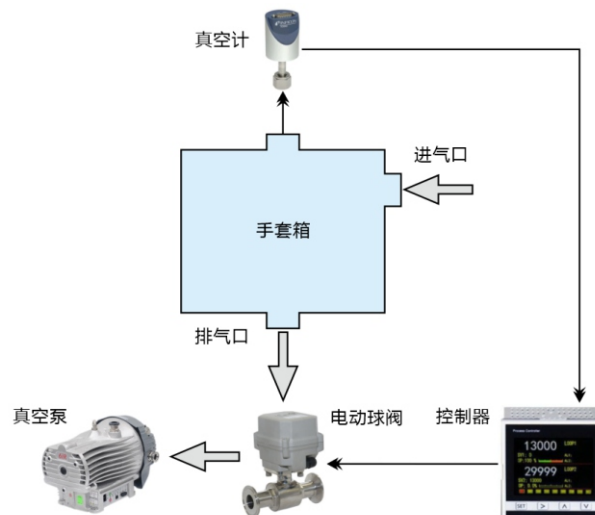


图2 下游控制模式结构示意图

2.2 下游控制模式

如图2所示，在保持下游真空泵抽速恒定的条件下，下游控制模式是根据真空计测量信号，通过PID真空压力控制器调节下游出气口电动球阀的开度，即通过控制出气流量使手套箱内的压力控制在设定值。下游模式常用于低真空度控制。

2.3 双向控制模式

上述上游和下游控制模式各有优势，在实际应用中很少单独使用，一般都是将上游和下游模式集成在一起用，即所谓的双向控制模式，如图3所示。在双向控制模式中，要求真空压力控制器具有正反向控制功能，即对上游电动针阀用反向控制，对下游电动球阀用正向控制。

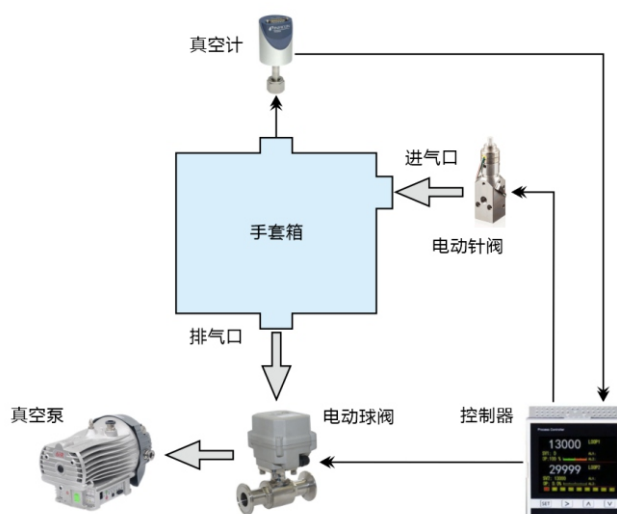


图3 双向控制模式结构示意图

2.4 双传感器自动切换模式

如前所述，如果在10Pa~0.1MPa全范围内进行真空度的准确测量和控制，一般需要配置1000Torr和10Torr两只高精度的电容薄膜真空计，由此在控制过程中就需要进行传感器的自动切换。如图4所示，高切换点（2-3）是低真空传感器工作的高点，低切换点（1-2）是高真空传感器工作的低点，在这两点之间控制器进行平滑计算。当低真空测量值PV1和高真空测量值PV2的连续采样低于下切换点，切换到低真空传感器。当低真空测量值PV1和高真空测量值PV2的连续采样高于上切换点，则切换到高真空传感器。

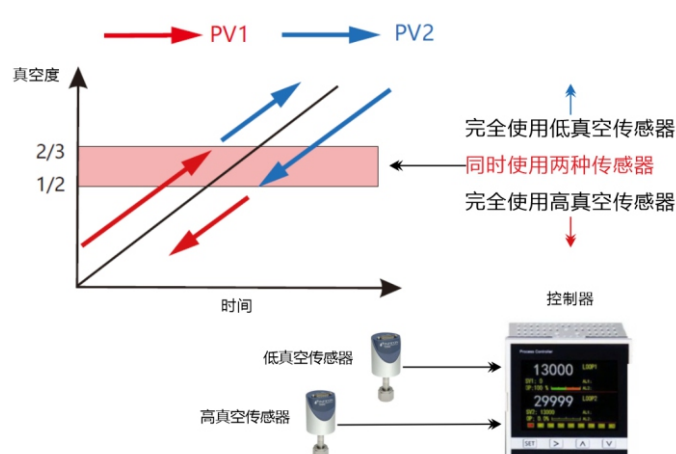


图4 双传感器自动切换过程示意图

3. 真空计、阀门和控制器的选择

3.1 真空度传感器的选择

与其他任何传感器一样，各种真空度传感器也同样具有一定的测量范围和精度，基本规律也是测量范围宽的传感器，精度较差；测量精度高的传感器，测量范围较窄。对于手套箱，如图5所示，所采用的真空度传感器一般有以下三类：

（1）常规真空计：皮拉尼真空计，精度为满量程的 $\pm(15\sim50)\%$ ，但一只真空计可覆盖全量程。

（2）高精度真空计：电容薄膜真空计，精度为满量程的 $\pm 2.5\%$ ，如果覆盖10Pa~0.1MPa范围，一般需要配置1000Torr和10Torr两个真空计。

（3）超高精度真空计：半导体真空计，精度为满量程的 $\pm 0.05\%$ ，有效量程为50Pa~0.1MPa，无法覆盖较高真空。

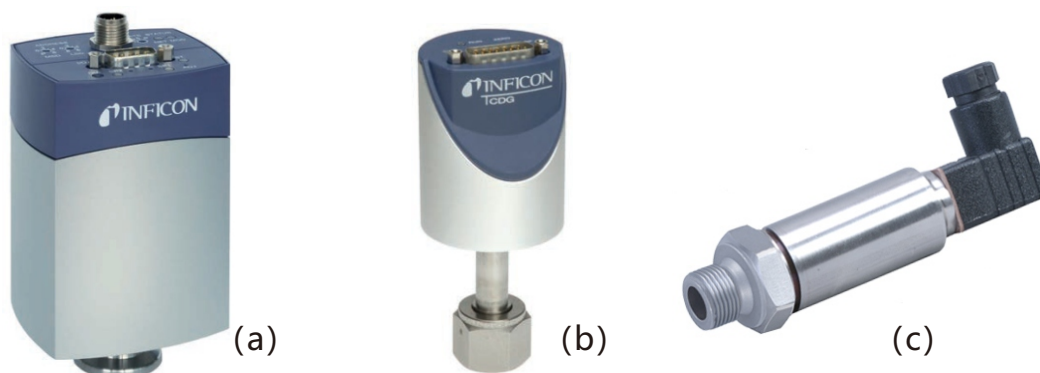


图5 三类真空度传感器：（a）皮拉尼计、（b）电容薄膜规、（c）半导体真空计

3.2 电动阀门的选择

在手套箱真空度控制中，一般会涉及两类阀门：一类是调节进气端流量的进气阀门，另一类是调节排气流量的排气阀门。进气阀门多用来进行小流量调节，因此一般选择针型阀；排气阀门多用来进行抽真空，因此一般要求使用口径较大的球形阀。由于要进行自动控制，无论是针型阀和球形阀，都要求可以用直流电压、直流电流或数字信号（RS485）进行驱动，即所谓的电动阀门或电子阀门。

电动针型阀选择小尺寸的步进电机驱动的电动针阀，如图6所示。这种电动针阀具有较高的响应速度（1s以内）和线性度（1%以内）。

电动球阀选择微型电动球阀，如图7所示。这种电动球阀同样具有较高的响应速度（7s以内），也可以选择开关时间1s以内的高速电动球阀。



图6 电动针型阀



图7 电动球阀



图8 超高精度PID控制器

3.3 控制器选择

从上述手套箱真空度的各种控制模式可以看出，真空度的控制过程对控制器提出了很高的要求，如图8所示，所选择的控制器要满足以下几方面的要求：

- (1) 最起码是PID控制器，并具有PID参数自整定功能。
- (2) 真空计自身精度较高，为充分发挥真空计测量精度，需要数据采集和控制的PID控制器通用要具有较高精度，建议控制器为24位A/D采集，16位D/A输出。
- (3) 至少2通道以上，实现温度和真空度同时测量及控制，并减小安装空间。
- (4) 多种输入信号接入功能，可直接连接热电偶、热电阻、直流电压等不同类型传感器的输入信号，实现不同参量的同时测试、显示和控制。
- (5) 正反向控制功能，以实现双向控制模式。
- (6) 具有双传感器切换功能，每一个通道都可支持温度高低温和高低真空度的双传感器切换，两通道可形成总共接入四只传感器的控制组合。
- (7) 程序控制功能，可自行建立和存储多个控制程序，使用时只需选择调用即可开始（程序控制模式）。
- (8) 具有通讯接口与计算机连接，如标准MODBUS协议的RS485接口等。

4. 手套箱的温度控制

手套箱除了可以提供真空环境之外，还可以在手套箱内放入加热装置进行不同温度下的各种试验和测试，由此就需要在手套箱应用中引入温度控制功能。

温度控制是一种非常成熟的经典技术，一般是结合温度传感器采用PID控制器予以实现。为了造价和安装体积的降低，一般是采用一个多通道PID控制器同时进行温度和真空度的控制，控制器与计算机通讯以显示和存储测量控制数据和曲线。

手套箱内的工作温度一般要求不能太高，但如果做好隔热防护和冷却，也可以实现1000℃以上的工作温度范围。温度测量传感器一般选择热电偶，如果对测量精度要求较高，也可以选择热电阻和热敏电阻温度传感器，这些传感器都可以直接与上述高精度PID控制器连接使用。

5. 总结

通过上述内容的介绍，基本讲清楚了手套箱中真空度和温度的各种控制方法和所涉及的主要传感器、电动阀门和PID控制器。在具体应用中，可以针对具体手套箱结构和功能进行局部改进，也可以根据实际要求进行手套箱的整体设计、安装和集成。

尽管本文只介绍了手套箱中真空度和温度的测量和控制，但这些方法和具体实施内容也可以推广应用到对气氛环境比较敏感的其它领域内的试验参量控制，如低温、几何量、光学和声学等领域。

