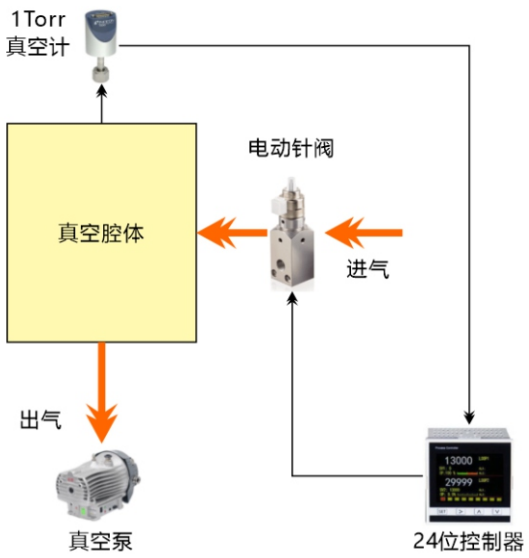
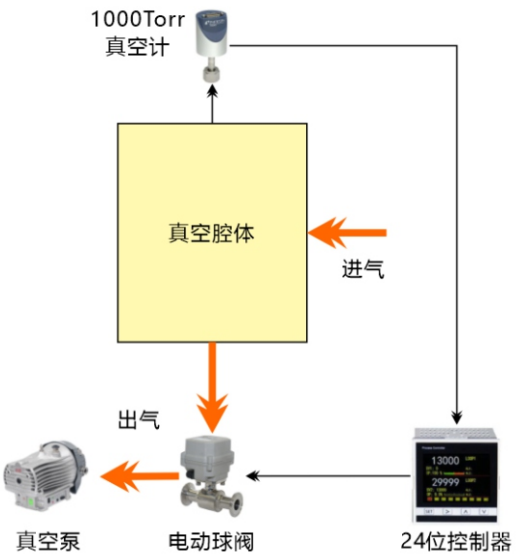
上海依阳实业
ShangHai Eyoung Thermal Analysis Technology

电动针阀在上游模式以及电动球阀在下游模式真空度（压强）控制中的考核试验

Examination Test of Vacuum Degree Control of Electric Needle Valve in Upstream Mode and Electric Ball Valve in Downstream Mode



上游控制模式



下游控制模式

摘要：针对密封腔体内真空度（压强）的准确控制，本文基于薄膜电容真空计、电动针阀、电动球阀、真空泵和高精度 PID 控制器组成的真空控制系统，设计了上下游两种模式的控制试验方案。依据对两种试验方案分别进行了试验，考核了 10Pa~600Torr 真空度范围内十几个设定点的恒定控制精度，并用波动率描述了考核试验结果。试验结果显示在整个真空度量程范围内，恒定控制的波动率小于±1%。

1. 考核试验方案

在真空腔体的真空度（压强）控制过程中，会针对具体要求对真空度进行准确的定点控制或程序曲线控制，并配套使用真空计、电动针阀、电动球阀（电动蝶阀）、真空泵和高精度 PID 控制器。

在真空度具体控制过程中，一般会根据具体工艺要求在上游控制和下游控制这两种模式中选择一种。一般而言，在低真空（高压）下会选择下游控制模式，在高真空（低压）下会选择上游控制模式。

为了考察真空度（压强）控制模式和控制系统的控制精度，分别设计了两个考核试验方案。

1.1. 配备电动针阀的上游控制模式

上游控制模式考核试验方案如图 1-1 所示。

在上游模式中主要考核 1Torr 以下的高真空度恒定控制，所以采用了 1Torr 量程的薄膜电容真空计。真空腔体的进气由 24 位高精度的 PID 控制器控制电动针阀来进行调节，真空腔体的出气则由真空泵进行抽取。在真空泵抽气速率恒定的情况下，通过自动调节电动针阀的开度来实现腔体内真空度的控制。

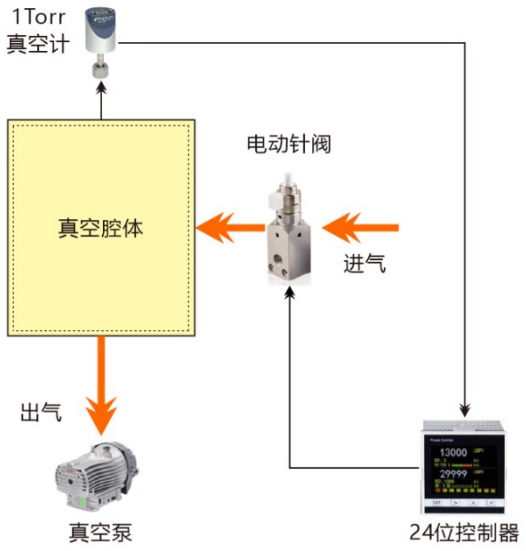


图 1-1 上游控制模式试验方案示意图

实施上述设计方案的考核试验装置如图 1-2 所示。

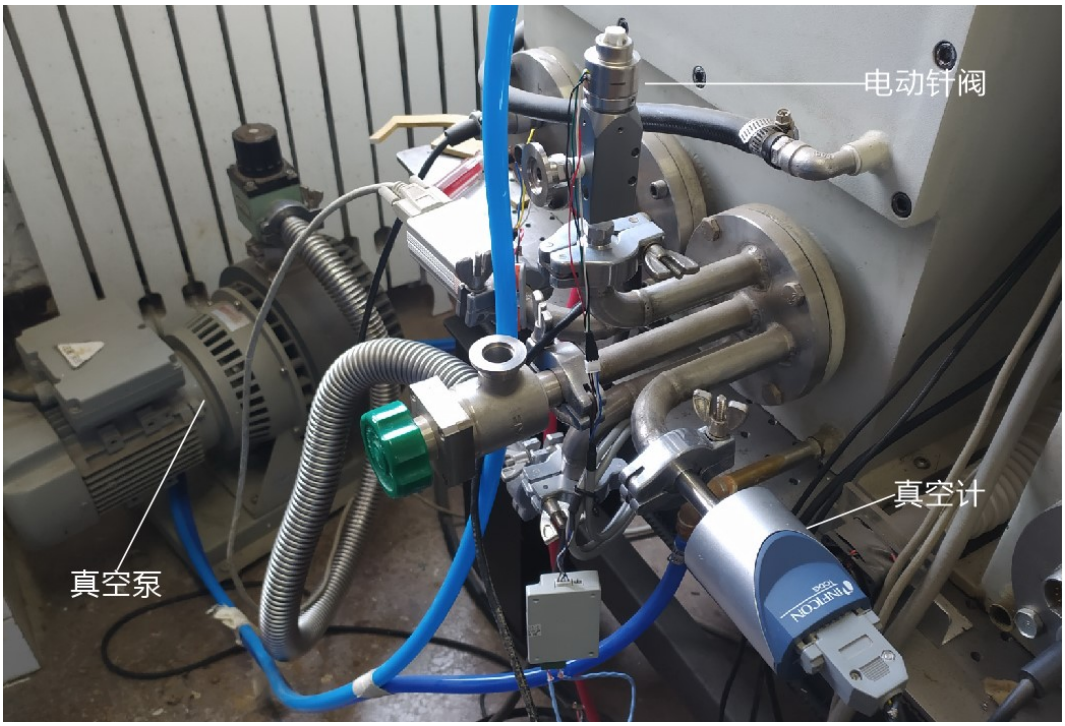


图 1-2 上游控制模式考核试验装置

1.2. 配备电动球阀的下游控制模式

下游控制模式考核试验方案如图 1-3 所示。

在下游模式中主要考核小于一个大气压（760Torr 以下）的低真空度恒定控制，所以采用了 1000Torr 量程的薄膜电容真空计。真空腔体的进气由手动阀门保持一恒定开度，真空腔体的出气则由真空泵进行抽取，但通过 24 位高精度的 PID 控制器控制电动球阀来调节出气速度。在进气和真空泵抽气速率都恒定的情况下，通过自动调节电动球阀的开度来实现腔体内真空度的控制。

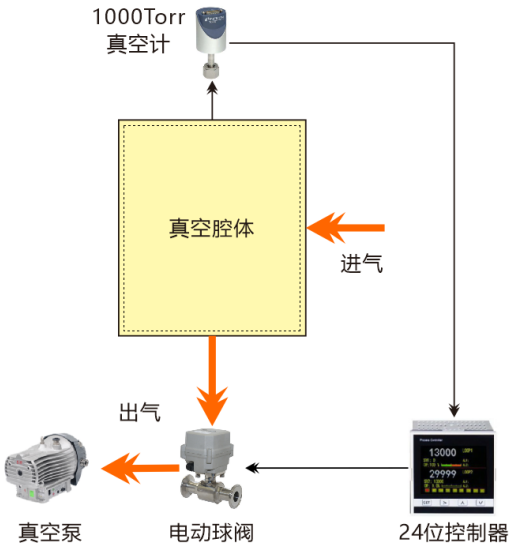


图 1-3 下游控制模式试验方案示意图

实施上述设计方案的考核试验装置如图 1-4 所示。

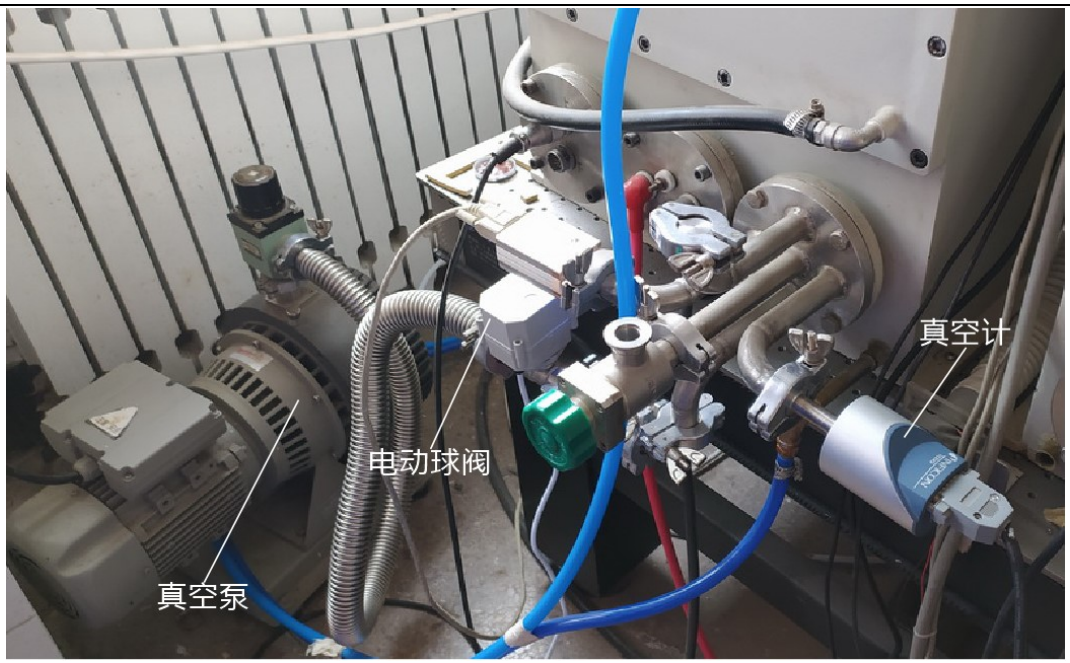


图 1-4 下游控制模式考核试验装置

2. 试验和结果

2.1. 上游控制模式试验和结果

在上游模式试验过程中，首先开启真空泵后使其全速抽气，然后在 68Pa 左右对 PID 控制器进行 PID 参数自整定。自整定完成后，分别对 12、27、40、53、67、80、93 和 107Pa 共 8 个设定点进行了控制，整个控制过程中真空度的变化如图 2-1 所示。

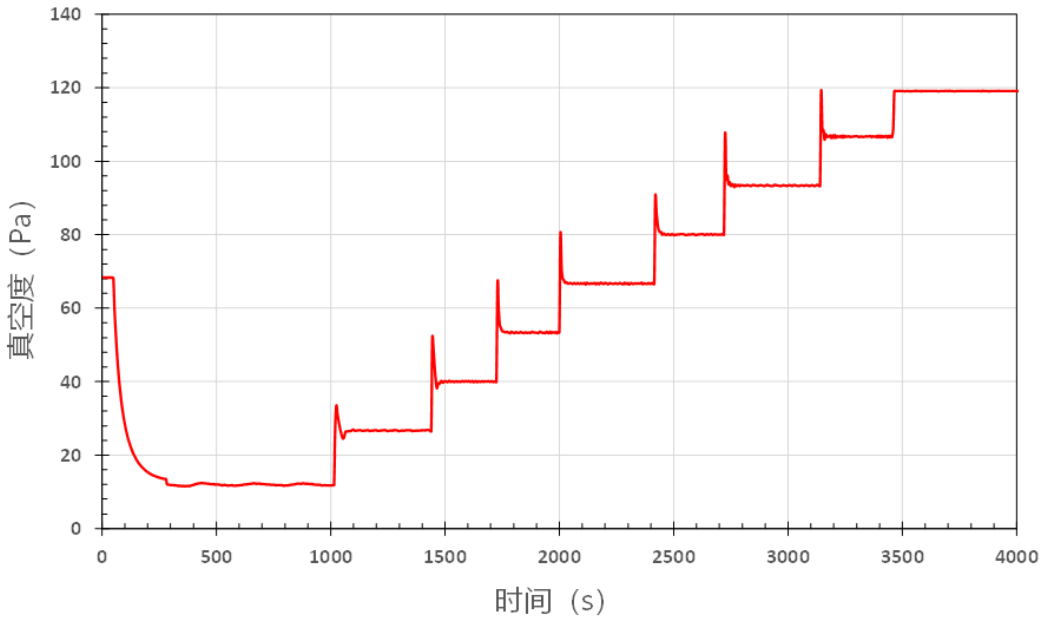


图 2-1 上游控制模式真空度定点控制考核试验曲线

将上述不同真空度恒定控制点处的控制效果以波动率来表达，则得到如图 2-2 所示的不同真空度下的控制波动率。从波动率图可以看出，采用 1Torr 真空计控制 1Torr 以下真空度时，波动率会随着真空度的升高（压强降低）而增大，主要因为以下几方面的原因：

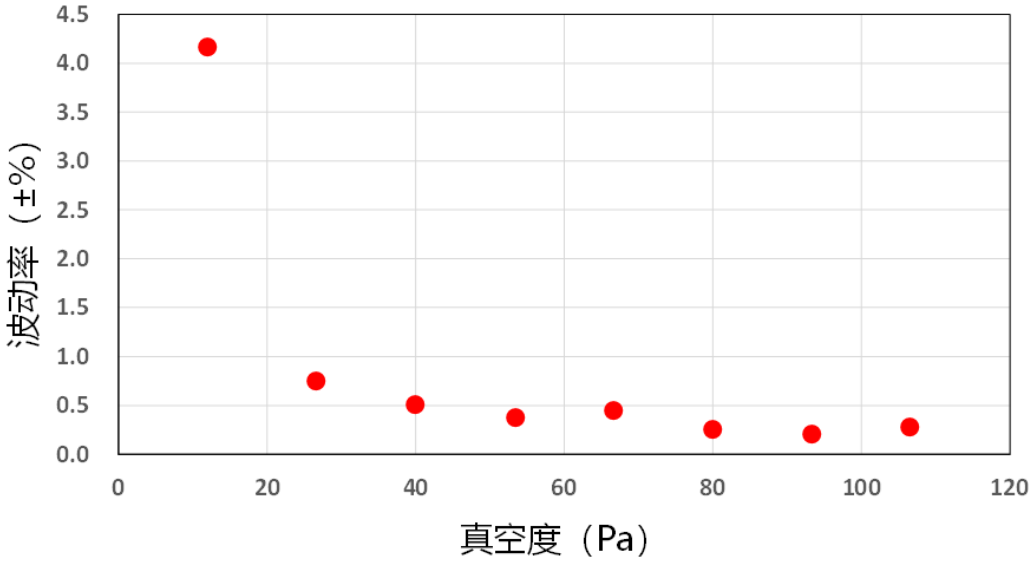


图 2-2 上游模式真空度恒定控制波动率

（1）在整个控制过程中，始终采 用的是在 68Pa 真空度恒定点处自整定后的 PID 参数，显然将此 PID 参数应用于 12Pa 恒定点控制并不太合适，还需进行单独的 PID 参数。

（2）在 PID 参数自整定后，并未对 PID 进行更进一步的精细调节，直接采用了自整定获得的 PID 参数，这也是影响波动率的一个原因。

（3）1Torr 真空计的量程为 0.0001~1Torr，即 0.013~133.32Pa，对应的模拟信号输出为 0~10V。在上述实际测量中，最低真空度恒定点 107Pa 时的模拟信号为 8.026V，最高真空度恒定点 12Pa 时的模拟信号为 0.900V，那么对于一定采集精度的控制器而言，测量和控制 0.900V 时的测控误差显然会较大。

2.2. 下游控制模式试验和结果

在下游模式试验过程中，首先开启真空泵后使其全速抽气，并将进气阀调节到微量进气的位置，然后在 300Torr 左右对 PID 控制器进行 PID 参数自整定。自整定完成后，分别对 70、200、300、450 和 600Torr 共 5 个设定点进行了控制，整个控制过程中真空度的变化如图 2-3 所示。

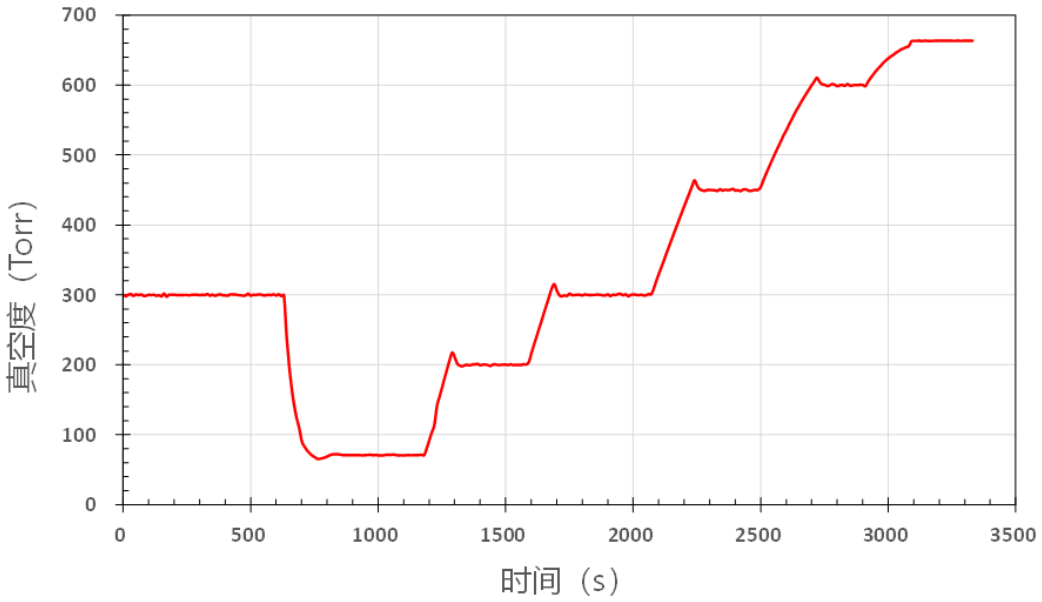


图 2-3 下游控制模式真空度定点控制考核试验曲线

将上述不同真空度恒定控制点处的控制效果以波动率来表达，则得到如图 2-4 所示的不同真空度下的控制波动率。从波动率图可以看出，采用 1000Torr 真空计控制 1000Torr 以下真空度时，波动率会随着真空度的升高（压强降低）而略有增大，与上游控制模式中的现象一致。

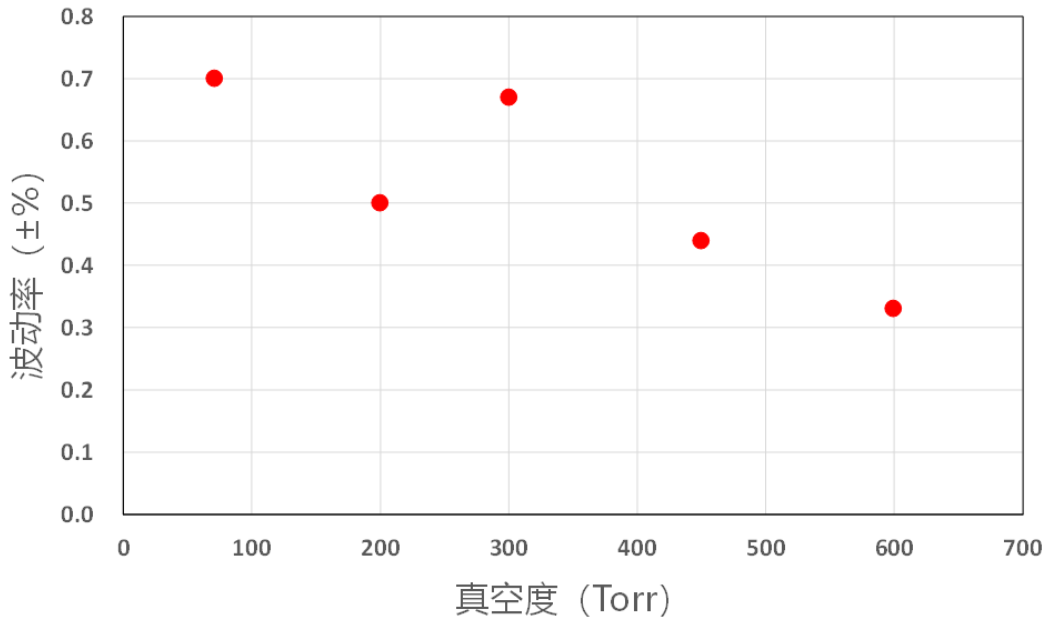


图 2-4 下游模式真空度恒定控制波动率

3. 结论

通过上下游两种控制模式的考核试验，可得出以下结论：

（1）配备有目前型号电动针阀、电动球阀和 PID 控制器的真空度（压强）控制系统，在采用了薄膜电容真空计条件下，恒定真空度（压强）控制的波动率可轻松的保持在±1%以内；

（2）由于真空控制系统中进气或出气流量与真空度并不是一个线性关系，因此在整个测控范围内采用一组 PID 参数并不一定合适，为了使整个测控范围内的波动率稳定，还需采用 2 组以上 PID 参数。

（3）今后还需开展进一步的研究和试验工作，希望控制波动度能降低到±0.5%以下，而且提高控制响应速度，以满足更苛刻的真空工艺要求。