

低压与高压（负压与正压）之间的 真空压力连续控制解决方案

Solutions for Continuous Control of Vacuum Pressure Between Low and High Pressure (Negative and Positive Pressure)

摘要：针对一些真空压力应用场合需要实现低压到高压（或负压到正压）之间的单向或交替连续精密控制，本文提出了相应的解决方案。并针对不同的真空压力范围，详细介绍了不同的调节阀配置和技术参数。

一、背景介绍

在一些真空压力应用场合，常需要气压在低压和高压（负压到正压）之间进行单向或交替变化，且整个变化过程需要精密控制。这方面的典型应用场合主要有：

(1) 压力传感器的校准装置：对于一些测量范围覆盖负压到正压的压力传感器，其校准就需要相应的校准腔室，校准腔室需要模拟出相应的负压到正压的真空压力环境。并且在校准过程中，需在低压到高压范围内设置多个校准点，并按照从高到低（或从低到高）连续控制和测量，并进行校准。

(2) 人体肺器官性能研究装置：通过正压和负压变化控制模拟呼吸过程以研究肺器官的动力学特性，由此来指导和改进呼吸机和相关仪器。

(3) 大气气压环境模拟装置：在各种航空飞行器、机动车辆和电器仪表等行业，都需要在大气气压模拟环境下进行考核测试，相应的大气气压模拟腔室也需要正负压范围内的连续控制，有时甚至要求在正负压之间快速变化以模拟飞行器高度快速变化的动态特性。

(4) 医院隔离房间的正负压转换：很多医院的手术室等多为正压房间，随着新型冠状病毒出现以后，需要将正压室改造为负压室，甚至要求可以按照需要在正压和负压之间进行转换。

(5) 闪蒸工艺：闪蒸工艺是使液体在正负压快速变化环境中形成过热并快速挥发成蒸汽而起到快速干燥作用，同时可用来增加液体对固体的渗透。

(6) 机械手用软气动致动器：大多数用于产生弯曲致动的软气动致动器都利用了正压或负压，正负压致动器的弯曲力组合成单个致动结构，并产生较大的阻挡力并仍然能够产生较大的弯曲变形，为软机器人夹具在需要细腻触感的应用中提高了有效的技术手段。

本文将针对上述应用场合中需要实现低压到高压（或负压到正压）之间的单向或交替连续精密控制，提出相应的解决方案。并针对不同的真空压力范围，详细介绍不同的调节阀配置和技术参数。

二、技术方案

正负压区间连续控制的基本原理如图1所示，其目的是精密控制真空压力容器内的气压从低压到高压（或从高压到低压）的连续单调变化（或往复交变）。以下为控制原理的具体内容：

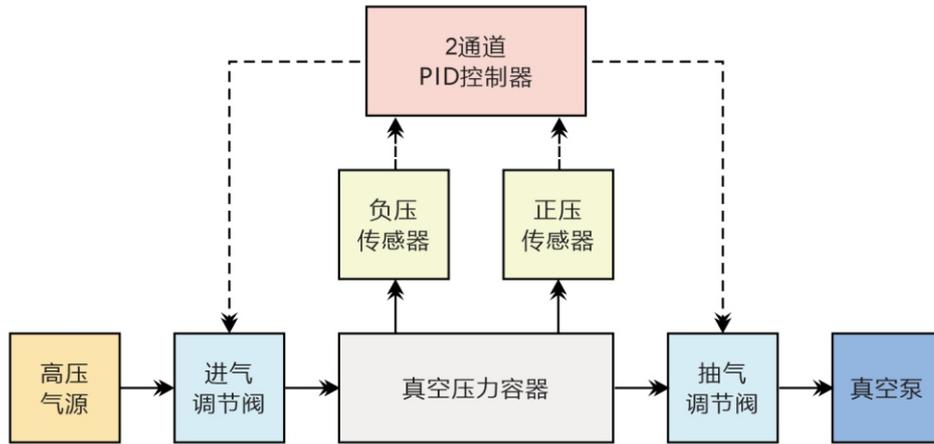


图1 正负压区间真空压力连续控制原理图

(1) 控制原理基于真空压力容器进气和出去的动态平衡法，是一个典型的闭环控制回路。PID控制器采集压力传感器信号并与设定值进行比较并调节进气和抽气调节阀的开度，最终使传感器测量值与设定值相对而实现真空压力准确控制。

(2) 为了覆盖低压到高压的整个真空压力范围，至少配置两个真空压力传感器分别负责负压和正压。PID控制器为双通道同时控制以对应低压和高压区间的控制，并且PID控制器能根据不同的真空压力范围对传感器进行自动切换。

(3) 控制回路中分别配备了真空泵（负压源）和高压气源（正压源），以提供足够的低压和高压能力。

(4) 当控制是从低压到高压进行变化时，一开始的进气调节阀开度（进气流量）要远小于抽气调节阀开度（抽气流量），通过自动调节进出气流量达到不同的平衡状态来实现不同的真空压力控制，最终进气调节阀开度逐渐要远大于抽气调节阀开度，由此实现低压到高压范围内一系列设定点的连续精密控制。对于从高压到低压的变化控制，上述过程正好相反。

三、方案具体配置

本文所提出的技术方案包括了两个部分，以覆盖以下两个不同的真空压力范围。

(1) 绝对压力最高7bar至最低0.01mbar（1Pa）。

此真空压力范围内的控制系统结构如图2所示。

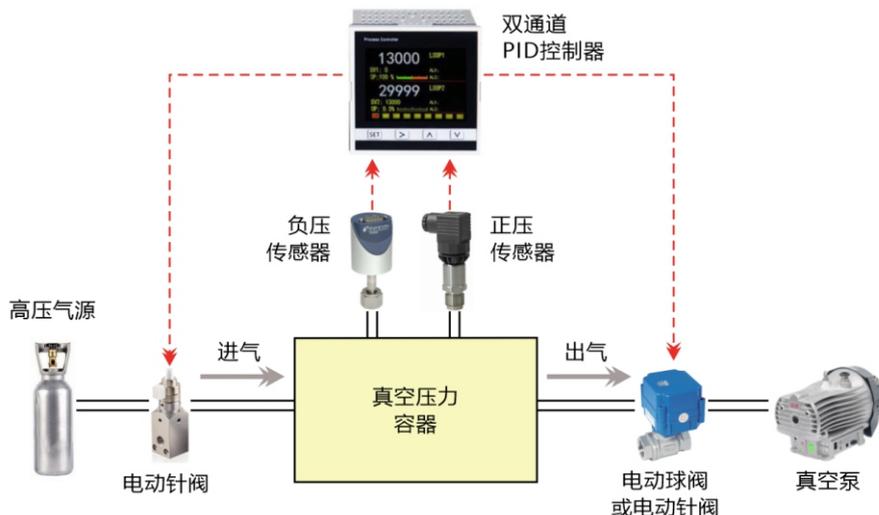


图2 绝对压力0.01mbar~7bar范围内的控制系统结构示意图

在图2所示的控制系统中，由于对高真空进行精密控制而采用了电动针阀，电动针阀的正压耐压仅为7bar，因此决定了此种配置的系统高压控制范围不超过7bar。

图2所示的控制系统中使用了通径较大电动球阀作为排气调节阀，主要是用于容积较大的密闭容器的真空压力控制。如果要在较小体积密闭容器内实现真空压力的连续控制，则排气调节阀可采用通径较小的电动针阀。

另外，对于要求正负压快速交替控制的应用场合，要求进气和排气调节阀具有很高的响应速度，这时就需要采用响应速度更快的电动针阀。

(2) 绝对压力最高15bar至最低15mbar (1.5kPa)

为满足更高压力的需要，就需要解决图2方案中的高压瓶颈，因此将图2中的高压耐压差的电动针阀更换为真空型气控背压阀，由此可大幅度拓宽高压区间，但相应地要在低压范围内做出牺牲。此高压型的控制系统结构如图3所示。

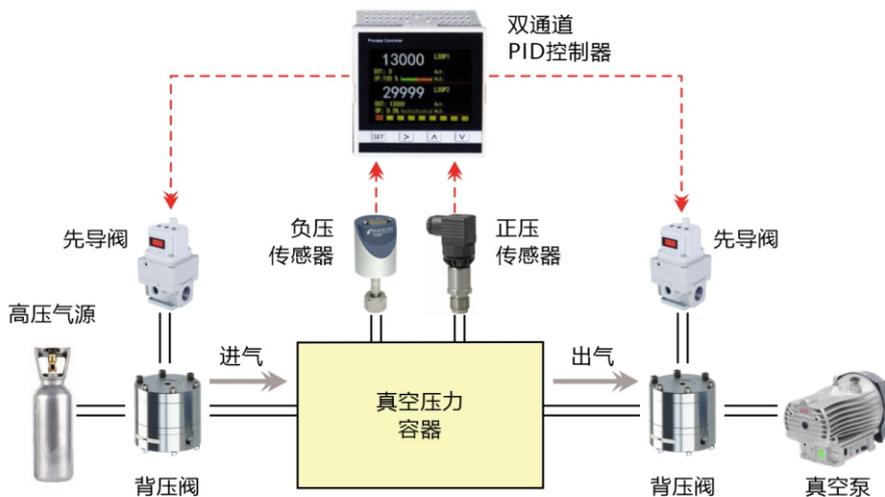


图3 绝对压力15mbar~15bar范围内的控制系统结构示意图

图3所示的负压至正压的控制系统中，采用了真空型背压阀来对进出气流量进行调节，对背压阀的驱动则使用了气控先导阀。由于采用了气控式真空型背压阀，可将高压控制范围提升到了15bar，但相应的负压同样也被提升到了15mbar。如果需要，还可以进一步抬高高压上限，但低压下限也会随之提升。

在图3所示的这种先导阀驱动背压阀控制方法中，除了将整个控制区间向高压端平移之外，还具有两个特点，一是背压阀可制作成较大通径而适用于较大容器的真空压力控制，二是背压阀的响应速度很快可满足正负压往复交变的快速控制。

四、总结

通过上述技术方案，完全可以实现正负压范围内真空压力的连续控制和往复交替控制，并且可以达到很高的控制精度和速度。

本文解决方案的技术成熟度很高，方案中所涉及的电动针阀、电动球阀、背压阀和PID控制器，都是目前上海依阳实业有限公司特有的标准产品，其他的真空计、压力计、先导阀、真空泵和高压起源等也是目前市场上的标准产品。

本文技术方案仅是对技术路线的详细内容进行了介绍，在具体实施过程中，还需根据具体应用中的技术指标要求来进行搭配和细化，如采用PLC控制和增加防护用的截止阀等。