

步进电机驱动比例阀在气腹机精密压力和流量控制中的应用

Application of Stepper Motor Driven Proportional Valve in Precise Pressure and Flow Control of Pneumoperitoneum

摘要：针对目前气腹机的气压和流量调节控制精度较差的问题，本文提出了精度更高的气压和流量控制方法，并详细介绍了控制方法的详细内容和关键部件步进电机驱动比例阀的详细技术指标。通过这种新型的技术手段结合PID控制器可将压力和流量控制精度提高到 $\pm 2\%$ 以内，且能进行任意点设定控制和全程自动运行。

一、问题的提出

气腹机是内窥镜腹腔镜手术时的必备设备，其作用是建立人工气腹，向腹腔内充入一定压力的二氧化碳使腹壁与脏器分开，并保持腹腔内的压力为手术提供足够的操作空间，且可以避免穿刺套管刺入腹腔时损伤脏器。在手术期间，需要根据不同的手术部位、腔体大小、病人体质、成人儿童等情况对二氧化碳的充入量或腹腔压力进行精确和精细化控制。目前市场上各种气腹机的气压和流量调节控制技术指标为：

- (1) 气压调节范围：0~4kPa (30mmHg)。
- (2) 气压控制精度： $\pm 15\%$ 。
- (3) 流量调节范围：0~30L/min。
- (4) 流量调节精度： $\pm 20\%$ 。

从上述技术指标可以看出，目前气腹机的气压和流量调节精度较差，二氧化碳的排放量也较高。本文将针对气腹机存在的测控精度差的问题，提出精度更高的气压和流量控制方法，并详细介绍了控制方法的详细内容和关键部件步进电机驱动比例阀的详细技术指标。通过这种新型的技术手段可将压力和流量控制精度提高到 $\pm 2\%$ 以内，且能最大限度减少二氧化碳排放量和全程自动运行。

二、当前气腹机压力和流量控制方法及其改进

目前气腹机的压力和流量调节控制原理基本都基于动态平衡的流量调节法，如图1所示，即在腹腔上插入两根气腹针用作进气和出气通道，通过调节阀改变进气和出气流量使得气体在腹腔内达到一种动态平衡。

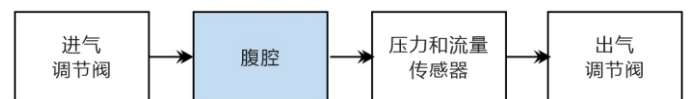


图1 气腹机压力和流量调节控制原理

由于气腹机的充气压力是略大于一个标准大气压的正压，因此在气腹机控压过程中，只需进气保持固定的微小流量而单独调节出气流量就可将压力精确控制到设定值。

如果在按照设定值进行压力控制的同时还需按照要求控制出气流量，则需同时对进气和出气流量进行调节，这在不采用PID控制时很难实现，这也是很多目前气腹机控制精度差的主要原因，因此要保证气腹机压力和流量的控制精度和稳定性，最好能采用PID控制方法对进气和出气流量进行调节。

另外，气腹机的控制精度受PID控制算法的影响之外，还会受到进气和出气调节阀的精度和压力传感器测量精度的严重影响。目前压力传感器可以做到很高精度和很小体积的芯片形式，这不在本文讨论范围之内，以下主要讨论调节阀的改进以提高气腹机控制精度。

从图1可以看出，在进气和排气端分别配置一个调节阀。目前的调节阀主要有两种形式，一种是开关阀，即通过使阀门高频率的开启和关闭来进行流量调节；另一种是开度阀，即通过改变阀门的开度大小来渐变型的进行流量调节。

通过在进气和出气端分别配置高频开关阀确实也能实现腹腔压力精密控制的效果，但无法对出气流量进行准确控制。因此，本文提出的改进方法是采用步进电机驱动的开度阀同时实现压力和流量的精密控制，整个控制装置的结构如图2所示。

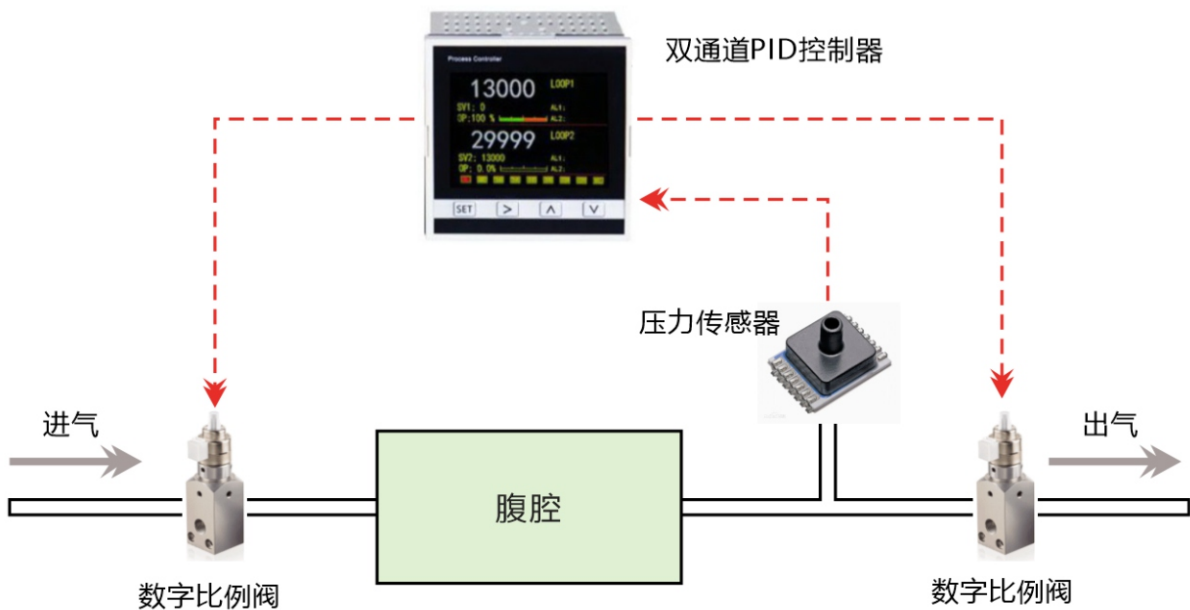


图2 改进后的气腹机压力和流量控制装置结构示意图

从图2可以看出，在进行压力控制的情况下，可以固定进气比例阀的开度，PID控制器会根据压力设定值和压力传感器测量值自动调节出气比例阀，使得腹腔压力快速达到设定压力并恒定，同时也会根据腹腔的漏气情况自动调节出气比例阀使得腹腔压力始终保持稳定。

在压力和流量同时需要控制的情况下，可以固定出气比例阀的开度（此开度大小根据设定压力和流量计算得到），PID控制器会根据压力设定值和压力传感器测量值自动调节进气比例阀，使得腹腔压力快速达到设定压力并恒定，在压力稳定后相应的出气流量也达到稳定。

从上述改进方案可以看出，要实现进气和出气比例阀的同时控制，配置了双通道PID控制器，每一通道都具有正反向控制功能，由此可实现任意设定点的压力和流量自动控制。

此改进方案的核心部件是步进电机驱动的小流量比例阀，型号为NCNV-20，其阀芯节流内径为0.9mm、响应时间（全关到全开）为0.8s、耐压为7bar、最大流量为50L/min、流量分辨率为0.1L/min、线性度为 $\pm 2\%$ 、步进电机位移分辨率（单步长）为12.7 μm 、控制信号为模拟信号0~10VDC和工作电源电压24VDC（小于12W）。

三、总结

本文提出的气腹机压力和流量精密控制改进方案采用了标准的动态平衡控制方法，通过采用进气和出气流量的自动调节、双通道PID控制器和步进电机驱动的小流量比例阀，可同时实现对气腹机压力和流量的精密控制，控制精度可达到 $\pm 2\%$ 以内，且不受腹腔漏气等因素影响。