

采用夹管阀实现无菌流体系统中的 高精度压力和流量控制解决方案

Solution for High-Precision Pressure and Flow Control in Aseptic Fluid Systems Using a Pinch Valve

摘要：针对卫生和无菌流体系统中柔性管路内的压力和流量控制，本文介绍了采用电控夹管阀的高精度控制解决方案。解决方案基于反馈控制原理，采用压力传感器或流量传感器进行测量并反馈给程序控制器，控制器驱动夹管阀来改变柔性管路的内径从而实现高精度控制。尽管解决方案只介绍了最基本的夹管阀闭环控制回路，但这种简单控制可以进行多种组合以适用于多种流体介质的压力流量控制。本文同时也介绍了夹管阀应用的局限性和改进方法。

1. 问题的提出

夹管阀是一种打开或关闭流体路径，而阀体不会与流动介质接触的阀门，也就是流体管路内径的控制依赖于弹性管路外部的挤压压力。夹管阀主体内部不会接触到流体，仅有管路内部会接触流经的液体或气体，可确保流体不会受到污染，且能保持夹管阀的清洁，因此适合做为生物加工、食品工业、饮料工业、剂量系统、自动贩卖机、血液处理/分析、实验室分析、冲洗程序需无菌的生物制药等设备的阀门。与其他闸阀或活塞阀相比，使用夹管阀的主要优点是让阀体不会与腐蚀性流动介质接触，因此无论在使用寿命或卫生方面都更持久、干净。

在夹管阀的实际应用中，往往是通过改变夹管阀挤压压力来调节软管的开度，以控制管路内液相和气相介质的输送流量与流速，同时也相应的改变了软管内部的背压压力。夹管阀只是作为一个调节流量和压力的执行器件，还无法进行管路内部压力和流量的闭环自动控制。

为了采用夹管阀实现无菌流体系统中的压力和流量控制，特别是实现高精度的自动控制，本文将介绍一种闭环控制解决方案及其一些具体应用案例。

2. 解决方案

为了高精度的控制流体介质管路中的压力和流量，本解决方案提出的控制系统如图1所示。解决方案设计的控制系统是一种最基本的控制结构，可以根据实际应用情况进行各种组合。

图1所示的控制系统主要由泵、压力传感器、流量传感器、夹管阀、程序控制器和柔性管材组成，其各组件的功能如下：

- (1) 泵：主要用来驱动流体在柔性管路内流动，相当于一个进液源。
- (2) 压力传感器：测量柔性管路内流动液体的压力，并输出相应的压力测量信号。
- (3) 流量传感器：测量柔性管路内流动液体的流量，并输出相应的流量测量信号。

(4) 夹管阀：夹管阀采用的是电控式夹管阀，可灵活调节挤压压力，对应最大可夹软管外径7mm，软管壁厚范围0.5~2mm，夹紧留隙调节为0.5~2mm。夹管阀可方便地调节运动滑块的初始位置，灵活适用不同壁厚尺寸的软管。24V直流供电，控制信号为0~5V或0-20mA。

(5) 程序控制器：程序控制器采用的是VPC2021系列多功能超高精度PID真空压力程序调节器，可接入真空、压力、流量、温度和张力等47种传感器信号，具有串级控制、分程控制、比值控制等高级控制功能，具有控制程序功能和外部设定功能，具有24位AD、16位DA和0.01%最小输出百分比。控制器自动计算机软件，可由计算机进行远程参数设置和运行操作。

解决方案中的压力和流量控制系统的工作过程是进液通过泵的驱动使流体介质在柔性管道内流动，压力或流量传感器采集相应的压力或流量信号并传输给程序控制器，控制器根据设定值进行比较后输出控制信号驱动夹管阀动作，使管路内的压力或流量准确达到设定值。

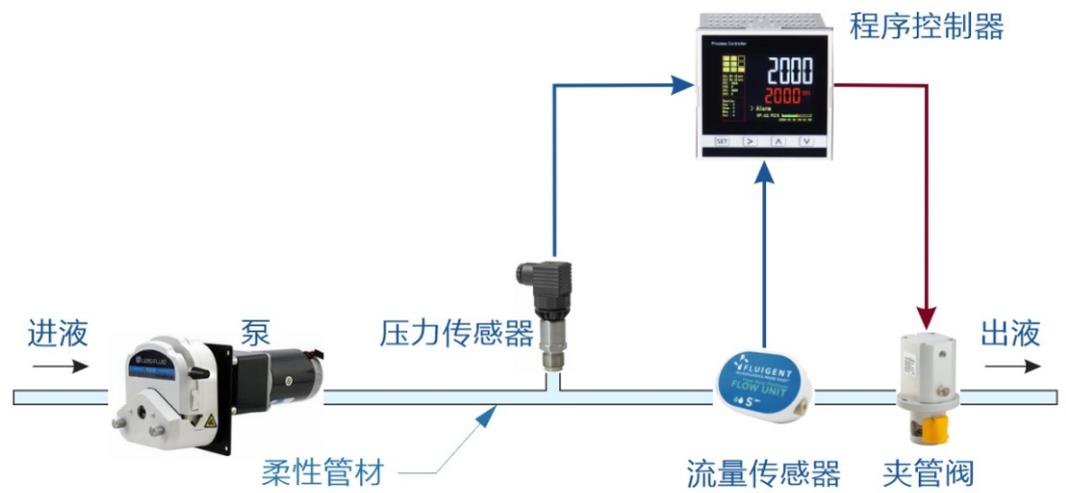


图1 夹管阀流体压力和流量精密控制系统结构示意图

3. 总结

尽管上述夹管阀具有高精度的压力和流量的控制能力和响应速度快的特点，但由于夹管阀会改变柔性管路的内径大小，使得管路内部的背压增大，而这种压力的增大必须要在软管的承受范围之内，否则很容易造成软管的爆裂或接口爆开。因此，更安全可靠的压力和流量控制方式是不使用夹管阀，而是直接控制进液压力，通过改变进液压力来调节管路内的介质压力和流量。这种进液压力调节有以下三种控制方式：

(1) 采用转速可调节式泵来改变进液压力。

(2) 采用注射泵来改变进液压力和流速。

(3) 采用进液容器顶部气压控制方式的压力控制器，同时连接外部压力或流量传感器形成闭环控制回路，以改变液池顶部加载压力实现压力和流量的自动控制。

上述的三种控制方式中，顶部气压控制方式的技术优势最为明显，同样可以实现高精度的压力和流量控制，特别是可以应用到微小流量的快速和超高精度控制。

另外，对于微流控芯片技术中所用的微小流量控制，往往会使用到小于1mm的很细软管，这些微细软管内的压力和流量控制则可能不太适合采用夹管阀，这时更适合采用注射泵或压力控制器形式。