

超长管件注塑过程中采用串级控制实现高压压力精密控制的解决方案

Solution of Cascade Control to Realize High-Pressure Precision Control in the Injection Molding Process of Super-Long Pipe Fittings

摘要：针对高压电气比例阀压力控制精度较差的问题，特别是为了满足客户在超长管件注塑过程中提出的 $\pm 1\%$ 压力控制稳定性要求，本文介绍了相应的解决方案，解决方案的核心技术是采用串级PID控制方法。方案一是基于现有精度较差的高压电气比例阀，通过外置高精度的压力传感器和压力调节器来提高压力控制稳定性；方案二是采用高精度的低压电气比例阀驱动背压阀来实现高压压力精密控制；方案三是在方案二基础上增加外置高精度的压力传感器和压力调节器来进一步提高压力控制稳定性。

一、背景介绍

作为一种先进的注塑成型方法，气体压力控制技术被逐步应用于塑料制品的成型，以解决常规注塑产品存在的尺寸精度差、表面凹痕及翘曲变形等缺陷，从而提高产品质量。

在以往注塑成型工艺的气体压力控制中，普遍采用高压电气比例阀，但存在压力恒定控制稳定性较差的问题。最近有客户针对细管注塑成型提出了高精度气体压力控制要求，具体如下：

- (1) 气体压力控制范围：1~3MPa。
- (2) 控制方式：在任意设定压力点处进行长时间恒压控制。
- (3) 长期压力稳定性：优于 $\pm 1\%$ 。

针对高压电气比例阀压力控制精度较差的问题，特别是为了满足客户在超长管件注塑过程中提出的 $\pm 1\%$ 压力控制稳定性要求，本文将详细介绍相应的解决方案。

二、高压压力精密控制解决方案

2.1 外置压力传感器和调节器的串级控制法

目前注塑工艺中所采用的高压电气比例阀为SMC ITVX2030，压力控制范围为0.01~3MPa，能够满足指标要求，但控制精度较差，为 $\pm 3\%FC$ 。

为了提高压力控制精度，方案之一是采用串级控制法，即通过外置高精度的压力传感器和压力控制器构成主控回路，由高压比例阀构成辅助回路。由此，通过这种两个串级PID控制回路，充分利用串级控制法具有高精度的特点，来实现高压压力的高精度稳定控制。此方案的结构布局如图1所示。

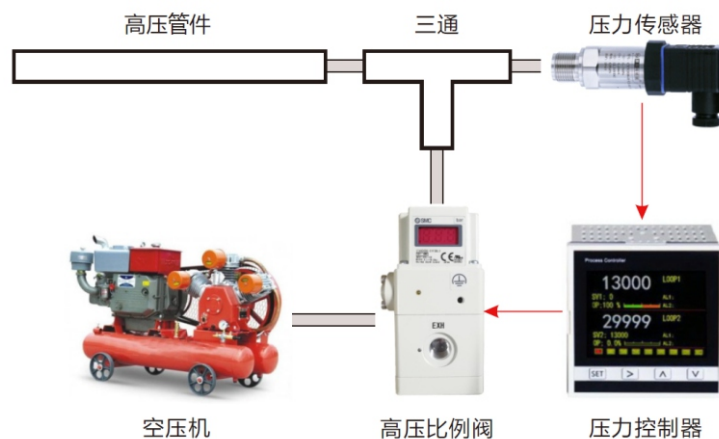


图1 外置压力传感器和调节器的串级控制法示意图

2.2 低压电气比例阀驱动高压背压阀

高压压力控制常用的另外一种控制方式是压力放大技术，即采用工作压力较低但精度较高的电气比例阀作为先导阀，驱动一个可工作在高压条件下的背压阀（或气动减压阀），其整体结构如图2所示。

这里的背压阀相当于一个线性压力放大器，其放大倍数则是实际工艺压力除以比例阀工作压力。由此，可通过调节电气比例阀的驱动压力来控制背压阀的压力输出。

如图2所示，这种背压阀高压压力控制方法是一种典型的开环控制，尽管背压阀是对比例阀的输出压力进行线性放大，但其线性度一般较差，这主要是受电气比例阀和背压阀的自身线性度影响。因此，为了实现高

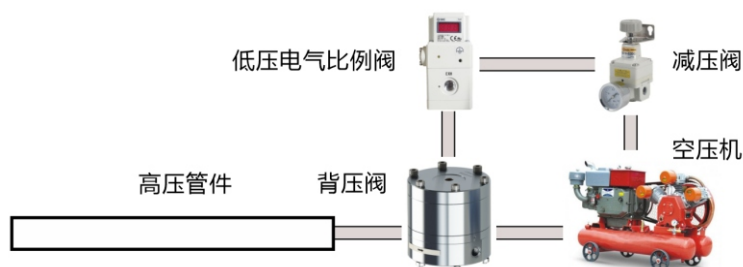


图2 低压电气比例阀驱动高压背压阀示意图

2.3 高压背压阀串级控制法

为了解决上述比例阀作为先导阀驱动背压阀进行高压压力控制过程中存在的线性度和控制精度较差的问题，可以引入串级控制法，即在图2所示的控制系统中接入一个较高精度的压力传感器和PID控制器，如图3所示，由此对高压管件的的压力控制形成一个闭环控制。

在图3所示的串级控制法高压压力控制装置中，安装了一个外接压力传感器用于直接监测背压阀的输出压力，压力传感器检测到的压力信号传输给外置的PID控制器，外置PID控制器根据设定值或设定程序采用PID算法进行计算后将控制信号发送给电气比例阀，比例阀根据此控制信号再经其内部PID控制器来调节先导压力输出，从而使得背压阀的输出压力快速接近压力设定值并始终保持一致。

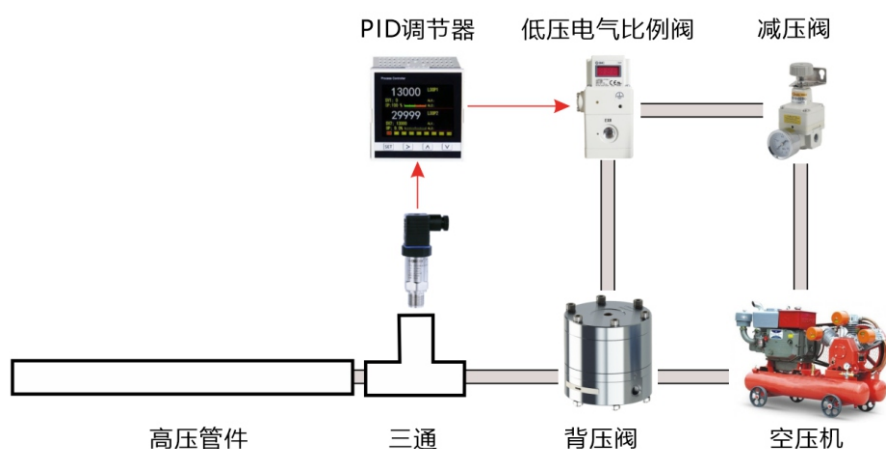


图3 高压背压阀串级控制系统结构示意图

三、总结

从上述的高压压力控制方案中可以看出，所采用的串级控制是一个双控制回路，具有两个独立的PID控制回路。串级控制法（也称级联控制法）是一种有效提升控制精度的传统方法，但在具体实施过程中，需要满足的条件是：

主控回路的压力传感器和PID控制器（这里是外置压力传感器和PID控制器）精度一般要比辅助回路的传感器（这里是电气比例阀内置的压力传感器和PID控制器）要高。

因此，为了实现 $\pm 1\%$ 以上精度的高压压力控制，我们推荐的配套方案是采用 0.1% 精度的外置压力传感器和超高精度PID控制器（技术指标为24位ADC、16位DAC和双浮点运算的 0.01% 最小输出百分比）。