

连续流反应器和微通道反应器的精密压力控制解决方案

Precise Pressure Control Solutions for Continuous Flow Reactors and Microchannel Reactors

摘要：针对目前连续流反应器或微反应器压力控制中存在手动背压阀控制不准确、电动或气动背压阀响应速度太慢、无法适应不同压力控制范围和控制精度要求、以及耐腐蚀和耐摩擦性能较差等诸多问题，本文提出了相应的解决方案。解决方案的核心是分别采用了低压和高压压力精密控制装置，低压控制采用电动针阀可实现0.7MPa以下压力控制，高压控制采用先导阀和气动背压阀可实现20MPa以下压力控制。

1. 问题的提出

连续流反应是反应组分在受控的工艺条件下通过连续流动进行混合，并通过加热和加压可实现更快的反应速度，而物质之间的有限相互作用使得反应更安全、更易优化以及更易进行工艺放大。近些年来，连续流反应技术已经从小众的学术应用研究转变为一种公认的强大的工业技术，其优势在于该技术所表现出安全、高效、高质与低成本的特点。

按照流动管路的粗细，连续流反应器分为管式反应器和微通道反应器两大类，如图1所示。

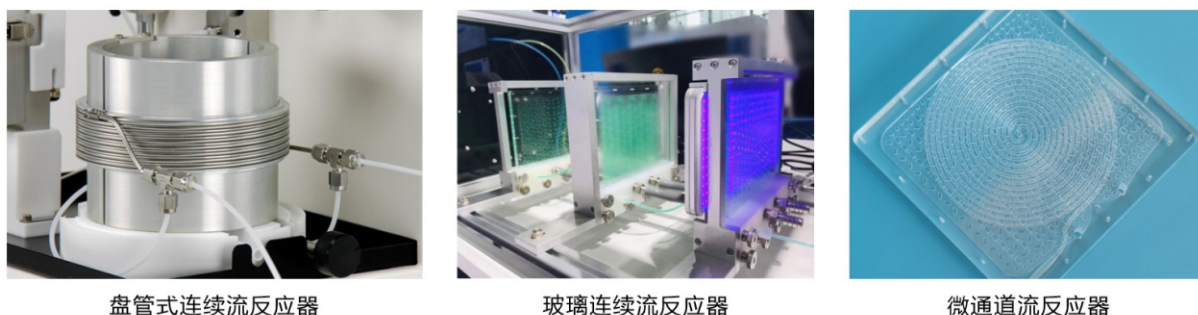


图1 连续流反应器的几种典型形式

大多数连续流反应装置主要由八个基本部分组成：流体和试剂递送、混合、反应器、淬灭、压力调节、收集、分析和纯化，如图2所示。

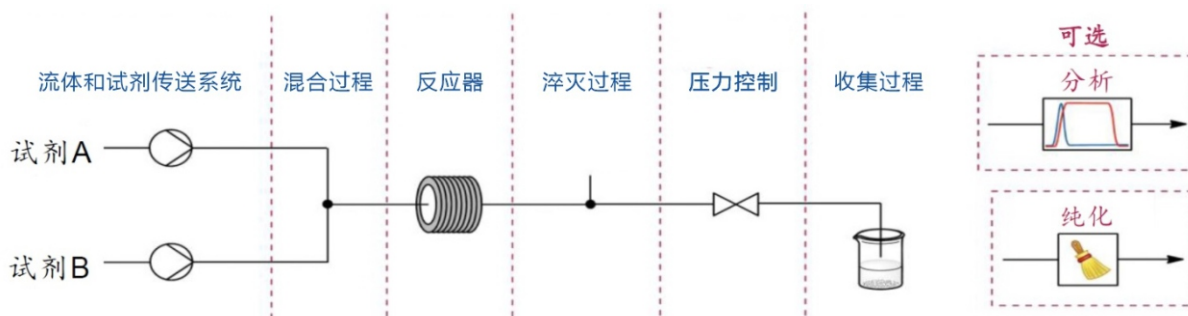


图2 标准双进料连续流反应过程示意图

连续流反应面临的挑战之一是控制所有过程参数，如温度和压力。如图2所示，反应器压力是连续流化学反应的重要环节，要求在各种苛刻的条件下进行恒压控制，这使得连续流反应器压力控制过程面临着以下挑战：

- (1) 目前多采用手动背压阀进行压力控制，存在压力控制不准、手动调节频繁的问题。
- (2) 目前也出现了电动和气动背压阀进行压力控制，但存在响应时间太长的问題，不太适合连续流反应过程中的压力稳定控制。
- (3) 各种连续流反应过程中会要求不同的压力环境，这就要求压力调节阀仅能满足低压压力控制，又能满足高压压力控制要求。
- (4) 连续流化学反应会涉及到很多腐蚀性气体或液体，这同样对压力控制阀的材质提出很高的要求，要求压力调节阀具有耐腐蚀和耐摩擦的优异性能。

针对上述连续流反应器中存在的上述技术挑战和问题，本文提出了相应的解决方案。

2. 解决方案

如图2的连续流反应过程所示，连续流反应器的压力控制的工作原理非常简单，当传送系统以一定压力将流体和试剂传递到反应器中时，可以通过调节阀开度大小来改变反应器出口端的介质流动速度来调节反应器内的压力，调节阀开度的大小则是根据压力传感并采用PID控制器来进行调节，使得反应器的压力始终恒定在设定压力上。

连续流反应器会涉及到从低压到高压的多种压力环境，为了满足不同压力条件的要求，本解决方案采用了低压和高压两个压力控制技术方安。

2.1 低压压力控制方案

低压压力是指表压为0~0.7MPa的压力范围，反应器低压压力控制装置结构如图3所示。低压压力控制装置由压力传感器、电动针阀和压力控制器组成并构成闭环控制回路，其中压力控制器获得压力传感器信号并与压力设定值比较后，PID控制输出信号驱动电动针阀的开度变化，由此改变通过针阀的流量大小而最终实现反应器的压力恒定控制。

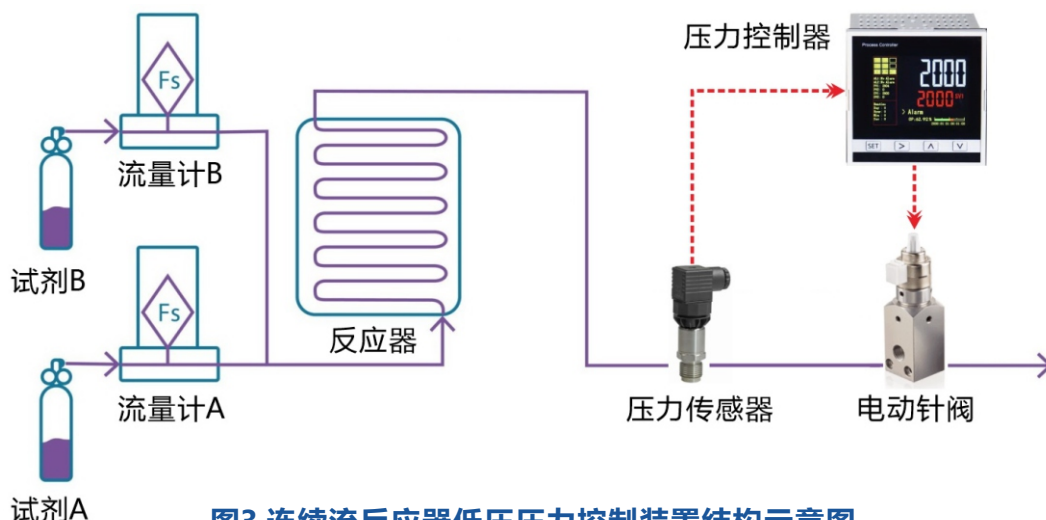


图3 连续流反应器低压压力控制装置结构示意图

为了保证控制精度，低压压力控制系统三个器件的技术指标如下：

(1) 压力传感器：根据压力控制精度要求，可在1%~0.05%内选择不同的压力传感器。

(2) 电动针阀：电动针阀为步进电气驱动的针型阀，具有从0.9、2.25和2.75mm三种通径，工作压力范围为-1~7bar，其最大特点是具有1秒以内的高响应速度，采用FFKM全氟醚橡胶做密封件的超强耐腐蚀性和耐摩擦性，非常适应于微反应器的压力和流量控制。

(3) 压力控制器：有单通道和双通道可选，双通道控制器还可同时用于温度的测量和控制，其中每个通道都为24位AD、16位DA和0.01%最小输出百分比。压力控制器具有程序控制和PID参数自整定功能，配备有具有标准MODBUS协议的RS485接口，并自带计算机软件，可通过计算机运行软件进行控制器的远程参数设置、运行和控制过程的曲线显示和存储。

2.2 高压压力控制方案

高压压力是指表压为0.5~20MPa的压力范围，反应器高压压力控制装置结构如图4所示。高压压力控制装置由压力传感器、先导阀、背压阀和压力控制器组成并构成闭环控制回路，其中压力控制器获得压力传感器信号并与压力设定值比较后，PID控制输出信号驱动先导阀，先导阀再驱动背压阀的开度变化，由此改变通过背压阀的流量大小而最终实现反应器的压力恒定控制。

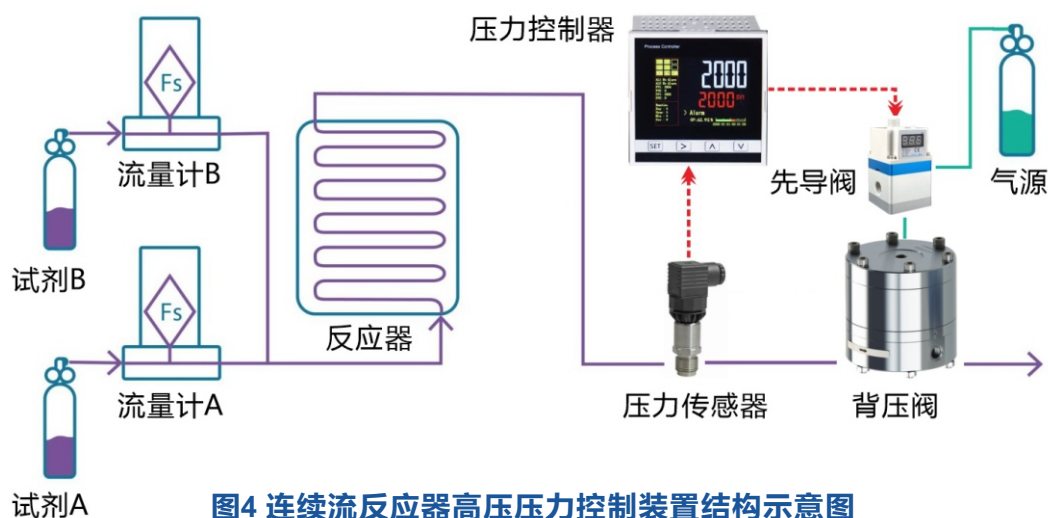


图4 连续流反应器高压压力控制装置结构示意图

在高压压力控制装置中采用了相同的压力传感器和压力控制器，其他器件的技术指标如下：

(1) 先导阀：工作压力范围0~0.5MPa，综合精度小于 $\pm 1.5\%FS$ 。

(2) 背压阀：工作压力范围0.5~20MPa，综合精度小于 $\pm 10\%FS$ 。

3. 总结

综上所述，通过上述的解决方案，可以很好的解决连续流反应器的压力准确控制问题，特别是采用了电动针阀和高精度压力控制器的低压压力控制装置，可广泛应用于低压低流量的微流道反应器中，可很方便的构成多通道微反应器压力控制系统，并能保证很高的压力控制精度和长期稳定性。