工业减压蒸馏工艺中大流量耐腐蚀快响应精密真空控制的解决方案

The Solution of High Flow, Corrosion Resistance, Fast Response and Precise Vacuum Control in Industrial Vacuum Distillation Process

摘要：针对目前工业减压蒸馏工艺中对大流量、耐腐蚀、快速和精密真空控制阀门的需求，本文介绍了相应的解决方案，提出了不同于流量调节的调压控制方法，介绍了大口径、耐腐蚀和快速响应的新型真空调节阀门，配合采用电子先导阀可实现减压蒸馏中的快速和精密真空控制。此技术方案也可应用在真空闪蒸工艺中。

一、问题的提出

减压蒸馏（真空蒸馏）工艺是将液体上方的气体压力进行减压至其蒸气压，从而使得最易挥发的液体被选择性的蒸发和蒸馏。但在目前工业减压蒸馏工艺中，还存在以下问题需要解决：

（1）在减压蒸馏工艺中精确控制真空压力非常关键，如果液体在大气压或不合适的真空压力下沸腾，这将对敏感分子造成破坏。另外，因为被蒸馏的混合物可能包含几种沸点接近的液体，精确控制真空度可以在蒸馏过程中实现更高的选择性。而目前国内的工业减压蒸馏工艺中自动化水平还有待提高，许多真空调节器根本无法提供选择性蒸馏沸点接近的流体所需的精度，无法解决温度波动和泵压波动所带的综合影响，真空度的精确和快速控制问题还有待解决。

（2）尽管有足够敏感的真空调节器可用于减压蒸馏，但适用的条件非常有限，很多无法承受真空蒸馏工艺中经常遇到的腐蚀性化学物质或高温。

（3）在许多工业减压蒸馏工艺中，所采用的蒸馏塔体积比较庞大，这就要求真空压力调节器具有较大的进出口口径，并配备较大抽速的真空泵，以实现较快速度真空度调节和控制。

（4）减压蒸馏过程中的液体会在相应真空压力下发生沸腾，蒸馏塔的内部压力会随之产生突变，这就要求真空调节装置具有较快的响应速度（毫秒级），需使内部压力快速恢复并恒定控制在设定真空度上。总之，无论蒸馏系统内的流量波动或供应的真空压力如何变化，都需能快速地将真空压力非常准确地控制到所需的设定值。

总之，为了解决目前真空蒸馏工艺中存在的上述问题，本文提出以下解决方案，介绍了大口径、耐腐蚀和快速响应的新型真空调节阀门，配合采用电子先导阀可实现减压蒸馏中的快速和精密真空控制。

二、技术方案

减压蒸馏工艺中精密真空控制的技术方案主要包括以下几方面的内容：

2.1 压力调节方式

目前减压蒸馏工艺的真空控制绝大多数采用的是下游抽气流量调节方式，即蒸馏塔设置有进气口，采用调节蝶阀或球阀的开度来调节排气流量，与进气口流量达到平衡来实现蒸馏塔内部真空度的控制。本文的方案是直接采用压力调节，通过调节排气口处的气压来实现蒸馏塔内部的真空度控制。调压方式同样可以实现真空度的准确控制，特别是在减压蒸馏的低真空（高气压）工作区间内，控制更准确和快速，并减少了蒸馏塔上进气口设置。

2.2 分体结构

整个真空控制系统为分体结构，即将阀门和PID控制器进行了模块分离。采用分体结构主要出于以下几方面的考虑：

（1）采用独立的2通道PID控制器。这种PID控制器具有24位A/D和16位D/A的超高精度，更能保证真空度的控制精度，同时具有40多种信号输入类型，即可用来控制真空度，也可控温等。

（2）2通道PID控制器可以连接两个不同量程的真空度传感器，并具有真空计自动切换功能，由此可同时满足低真空和高真空的减压蒸馏需求。如果只连接一个真空计，另外一个通道可连接温度传感器进行温度控制。

（3）很多减压蒸馏的工业设备和实验室仪器自身都配备了独立且功能强大的PLC控制系统用来进行真空度、温度和流量等电气参数控制，同时也具备达到一定精度的PID控制功能。分体结构可以使PLC系统直接去控制阀门，避免功能的重复，有利于降低造价。

2.3 气控驱动压力调节阀

有别于目前传统的速度很慢的电动执行器驱动阀门方式，本文的技术方案是电子气控先导阀驱动阀门的阀芯位移，由此可带动阀芯实现高速位移和开度调节。针对不同口径采用相应规格阀芯，内部阀芯非常便于拆卸、更换和清理。重要的是调节阀接气和接液部件采用了FFKM全氟醚橡胶，具有超强耐腐蚀性和耐温性。

三、真空控制系统

技术方案在减压蒸馏工艺中的具体应用如图1所示。

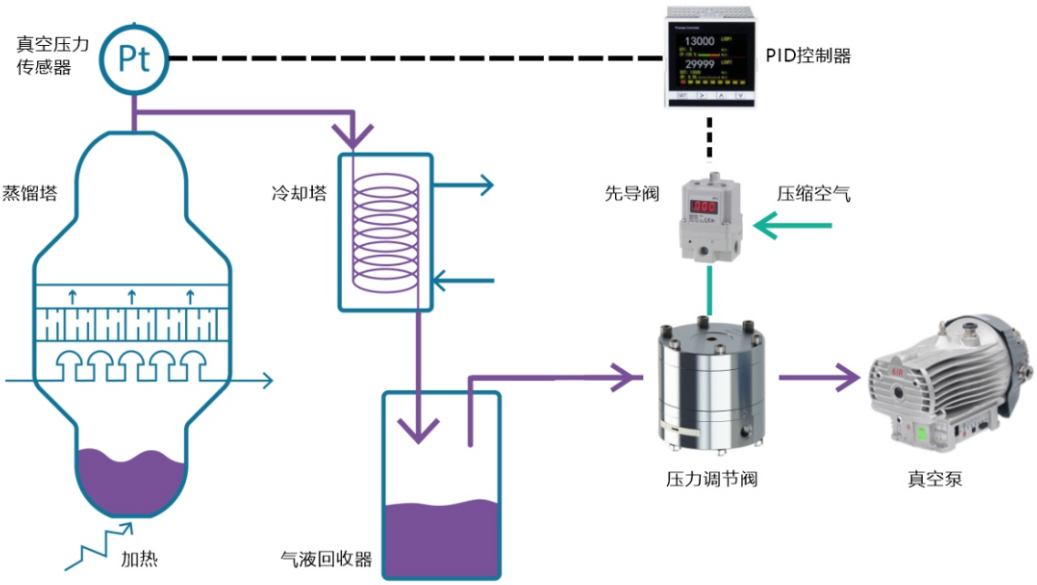

图1 减压蒸馏工艺真空控制系统结构示意图

技术方案所设计的真空控制系统主要包括压力调节阀、先导阀和PID控制器。整个真空控制系统是一个闭环控制回路，其功能是将蒸馏塔顶部的压力按照设定值进行精密控制。

真空控制系统的具体工作过程是PID控制器采集蒸馏塔顶部传感器的压力信号，将采集的压力值与设定值进行比较，根据比较后差值的大小来驱动先导阀的正压压力输出大小，压力调节器根据先导阀的输出压力来等比例的调节阀门，使得压力调节阀的进口处达到恒定压力，由此经过PID算法的调整使得蒸馏塔顶部压力快速达到设定值，并始终保证恒定。

四、相关部件

4.1 大口径高速真空压力调节阀

新推出的国产化EVR系列（Eyoung Vacuum Regulator）真空压力调节阀及其内部结构如图2所示。

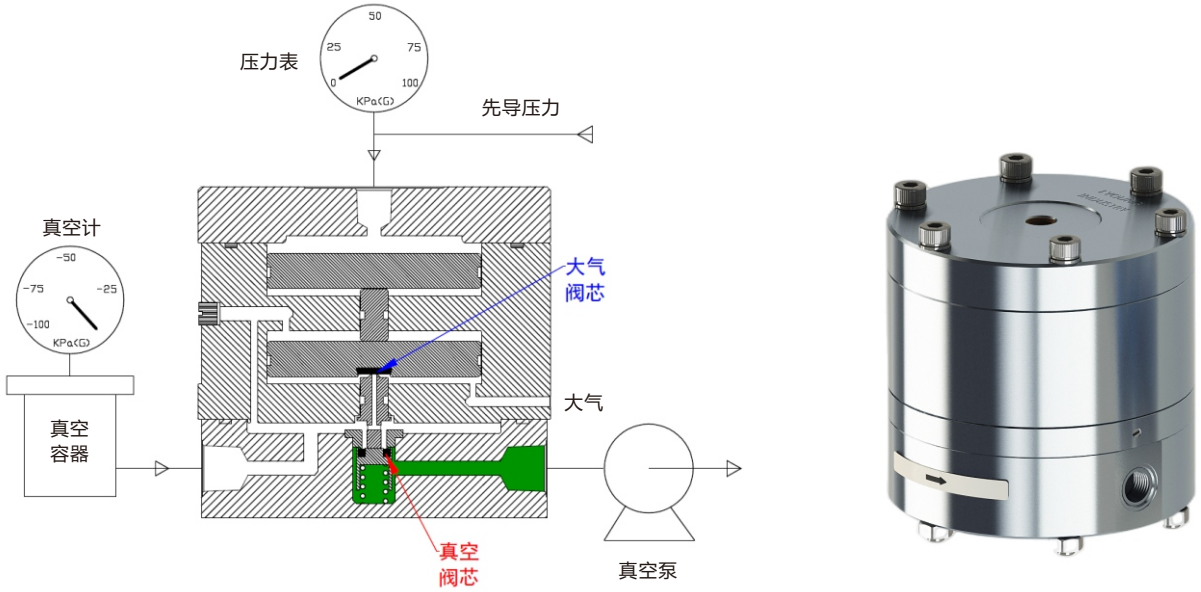

图2 国产EVR系列真空压力调节阀及其内部结构示意图

EVR系列真空压力调节阀是一种常闭型调压阀门，可直接对气密性容器的真空压力（负压或正压）进行高速调节，调节方式采用顶部气控先导阀，先导阀可采用手动和电子控制形式。

EVR系列产品可配各种手动和电子控制形式的先导阀，可形成开环和闭环控制回路。通过外接真空计和真空压力控制器相结合，可构成闭环形式快速高精度可编程真空控制回路。

EVR系列调节阀的特点之一是可以实现各种大口径连接和高抽速气体压力的调节，并且具有极快的响应速度，阀门从全闭到全开的时间不到100ms。这一特点可用于真空闪蒸工艺的控制。

EVR系列真空压力调节阀的技术参数如表1所示。

表1 EVR系列真空压力调节阀技术参数表

型号	EVR-2	EVR-4	EVR-8	EVR-16	EVR-24	EVR-32
进/出口径	1/4”	1/2”	1”	2”	3”	4”
通经（DN）	6	15	25	50	80	100
全开启/闭合时间	<100ms					
驱动气源	<840kPa，空气或惰性气体					
阀体材质	600 系列航空铝 / 不锈钢 316SS					
流体	气体等非固体物料					
密封材料	标准 FKM（或 FFKM 全氟醚橡胶）					
漏率	$<10^{-4}$ Pam^3/s					
使用温度范围（℃）	航空铝（-29℃~120℃）、不锈钢（-29℃~260℃）					
压力范围（绝压）	负压：0.01Torr~760Torr；正压最大 1.5MPa					
线性精度	±1.0 kPa					
重复精度	±1.5 kPa					
接口形式	NPT 内螺纹、KF 接头、CF 接头					

4.2 两通道24位高精度多功能PID控制器

对标英国欧陆控制器，国产VPC-2021系列PID控制器是多通道、24位A/D和16位D/A、可编程的通用型PID控制器，如图3所示。VPC-2021系列PID控制器可进行真空度、温度、流量和转速等多种参数的精密控制，功能十分强大，且性价比非常高。

图3 VPC-2021系列高精度PID程序控制器

VPC-2021系列控制器主要性能指标如下：

（1）精度：24位A/D，16位D/A。

（2）最高采样速度：50ms。

（3）多种输入参数：47种（热电偶、热电阻、直流电压）输入信号，可连接各种温度和真空度传感器进行测量、显示和控制。

（4）多种输出形式：16位模拟信号 、2A (250 VAC）继电器 、22V/20mA 固态继电器 、3A/250VAC可控硅。

（5）多通道：独立1通道或2通道输出。2通道可实现温度和真空度的同时测控，报警输出通道可用来控制旋转电机。

（6）多功能：正向、反向、正反双向控制、加热/制冷控制。

（7）PID程序控制：改进型PID算法，支持PV微分和微分先行控制。可存储20组分组PID，支持20条程序曲线（每条50段）。

（8）通讯：两线制RS485，标准MODBUSRTU 通讯协议。

（9）显示方式：数码馆和IPS TFT真彩液晶。

（10）软件：通过软件计算机可实现对控制器的操作和数据采集存储。

（11）外形尺寸：96×96×87mm(开孔尺寸92×92mm)。

五、总结

本文所设计的工业减压蒸馏工艺中的精密真空控制技术方法，完全可以满足减压蒸馏工艺的各种需要。通过精密的真空度控制，可实现沸点接近的液体混合物的选择性蒸馏所需的精度。

此技术方案的另外重要特点是响应速度快、大口径、强耐腐蚀和耐高温，基本可以满足各种减压蒸馏工艺的需求，并具有长期运转的稳定性和可靠性。其中的高速响应能力可用于真空闪蒸工艺中压力快速变化的控制。