

CVD工艺中MKS下游排气高速节流阀的 国产化替代方案及产品

Domestic Alternative Scheme and Products of MKS Downstream Exhaust High-Speed Throttle Valve in CVD Process

摘要：对标美国MKS公司的下游排气高速节流阀系列产品，本文介绍了相应的国产化替代方案和产品。基于CVD工艺，技术方案将下游流量调节阀变为了下游压力调节阀，并采用分体结构，将调压阀与PID控制器分离，调压阀具备大口径和高速功能，电子气控驱动调压阀快速动作，PID控制器接收真空计信号和控制气控驱动阀，可实现阀门全开时间小于0.1秒。

一、背景介绍

在各种化学气相沉积CVD工艺中，腔室上游为各种工作气体的进气端，腔室下游布置节流阀和真空泵，使得工作腔室内的工作气压在高温条件下按照设定程序进行控制。为达到较高的工艺质量，在CVD工艺中真空度的控制需达到以下几方面的要求：

(1) 下游控制方式：因为在CVD工艺过程中的真空度并不高，基本在10~500Torr范围内，在此范围内的低真空控制，采用下游控制方式可以达到较高精度，且控制速度很快。而上游控制方式则很难达到满意的控制效果，上游控制方式一般适用于较高真空度的低压控制。

(2) 高速调节能力：CVD工艺过程中，除了开始阶段的真空度缓慢调节控制之外，在温度突变过程中要求具备快速调节和恒定真空度的能力，这就要求下游调节阀门的响应速度极快，阀门从全闭到全开的时间至少不能大于1秒。

(3) 大口径：作为下游控制模式，节流阀安装在工作腔室和真空泵之间，要求具有较大口径以满足真空度的快速抽取和控制。

(4) 易维护：CVD工艺中会有大量微尘抽出排放，尽管使用了过滤装置，但还是会对节流阀产生污染，由此要求节流阀便于拆装清理而不影响使用。

目前市场上能满足CVD工艺上述要求且应用较多的节流阀是美国MKS公司的系列下游排气高速节流阀，系列节流阀的全开速度在0.2~1.7秒范围内，口径1.270~2.362英寸，并集成了蝶阀、步进电机和PID控制器。

目前MKS的下游节流阀在CVD工艺中应用比较成熟，但存在价格偏高和货期较长的问题。针对此问题，本文提出了相应的替代方案，介绍了相关产品，以期在国产化方面做出尝试。

二、国产化替代方案

国产化替代方案主要包括以下几方面的内容：

2.1 压力调节方式

目前MKS公司的下游节流阀是一种流量调节阀，通过调节蝶阀的开度大小来调节排气流量，与进口流量达到平衡来实现工作腔室内真空度的控制。我们的方案是直接采用压力调节阀，通过调节工作腔室排气口处的气压来实现腔室真空度控制。调压方式同样可以实现真空度的准确控制，特别是在CVD的低真空（高气压）工作区间内，排气量会更少，能节省工作气体的排放。

2.2 分体结构

与MKS下游节流阀的集成式结构不同，我们将阀门和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电容式真空计，并具有真空计自动切换功能，由此可实现全量程范围内真空度的自动测量和控制。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CVD设备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

有别于美国MKS公司下游节流阀所采用的高速步进电机驱动蝶阀，我们的技术方案是电子气控先导阀驱动阀芯位移，由此可带动阀芯实现高速位移和压力调节。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。

三、国产化相关产品

3.1 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1所示。

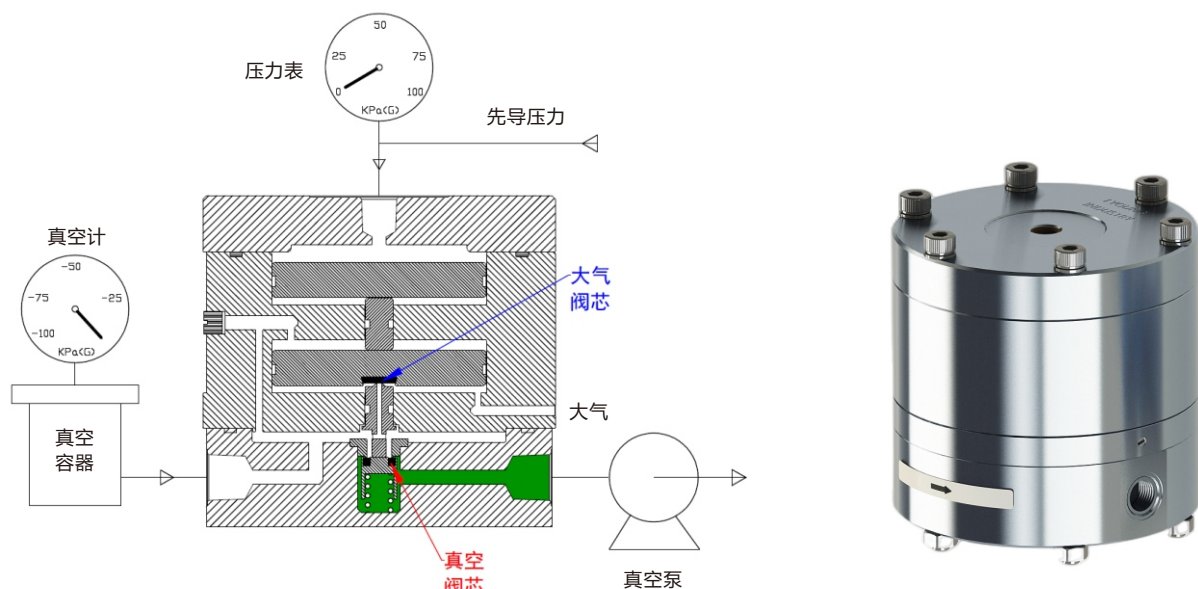


图1 国产EVR系列真空压力调节阀及其内部结构示意图

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气控先导阀，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 (°C)	航空铝 (-29°C~120°C)、不锈钢 (-29°C~260°C)					
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					

3.2 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2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2 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：数码管和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)。