

真空微波干燥 (VMD) 过程中 真空度、温度和转速的精密控制

Precise Control of Vacuum, Temperature and Rotational Speed During Vacuum Microwave Drying (VMD)

摘要:针对目前国内真空微波干燥技术研究和设备中普遍存在控制设备简陋、真空度控制效果差,产品质量普遍不佳等问题,本文提出了相应的解决方案,介绍了可用于真空微波干燥的集成式真空度、温度和转速控制器,介绍用于气体流量调节的步进电机驱动的耐腐蚀数控针阀和电动球阀,可很好的对真空微波干燥过程进行精密控制。

一、问题的提出

真空微波干燥是微波加热技术与真空技术相结合的一种新型微波能应用技术,它兼备了微波加热干燥及真空干燥的优点,同时克服了常规真空干燥温度高、时间长、能耗大的缺点,在物料干燥过程中,干燥温度范围一般为30~60℃,真空度范围一般为0.01~95kPa,具有干燥产量高、质量好、加工成本低、能耗低,同时通过温度和真空度控制可以精确控制水分等优点。此外在低温低压下干燥时氧含量低,被干燥物料氧化反应减弱变缓,从而保证了物料的风味、外观和色泽,易于干燥热敏性物料,特别是对中药提取物浸膏、肉类食品、化工原料、水果和农产品的低温干燥,具有独特的优势。

由于真空微波干燥技术利用了低压下水分沸点变低的原理,同时结合了微波加热快速、均匀和能耗低的特点,所以真空度、温度和转速是真空微波干燥技术应用中的三个关键控制参数。在目前国内的真空微波干燥技术应用中普遍存在控制设备粗糙,真空度控制效果差,产品质量普遍不佳的问题,主要体现在以下几个方面:

- (1) 对于不同物料,干燥过程中所需的真空度、温度和转速完全不同,真空度的变化范围非常宽泛,如从0.01kPa至95kPa,因此需要具备宽量程范围内真空度的准确测量和控制能力,对于不同真空度,需要不同的控制方法。
- (2) 真空度的变化会对蒸发温度产生严重影响,而微波加热后的温度变化又会引起真空度的快速升高,真空度与温度是一组相互影响的变量。为了保证产品质量,要求真空度控制具有较快的响应速度,使得干燥过程中的真空度始终恒定而不受温度变化的影响,同时恒定后的真空度波动率要小。
- (3)除了需要同时控制真空度和温度(微波加热功率)之外,为保证微波加热物料的均匀性,还需对旋转速度进行选择和控制。



(4) 因为不同物料需要不同的PID控制参数和工艺参数,所以要求控制器具备 多程序和多参数存储功能,便于使用过程中的随时调用,以提高整个干燥过程的自 动化水平。

本文将针对上述问题,提出相应的解决方案,并将介绍可用于真空微波干燥的 集成式真空度、温度和转速控制器,介绍用于气体流量调节的步进电机驱动的耐腐 蚀数控针阀和电动球阀,由此可很好的对真空微波干燥过程进行精密控制。

二、真空微波干燥控制方案

真空微波干燥过程中需要对真空度、温度和转盘速度进行精密控制,目前国内常用的控制方案普遍比较简陋,这里提出的改进方案如图1所示。

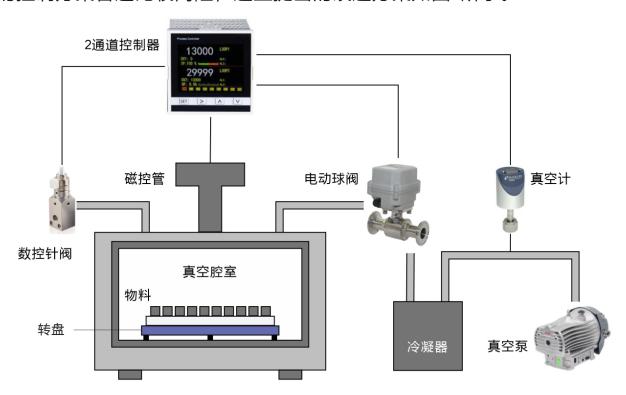
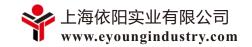


图1 真空微波干燥中的真空度控制系统结构示意图

在图1所示的真空度控制系统中,采用了与以往真空度控制不同的方法,即在真空腔室上增加了一路进气通道,并采用了响应速度较快的数控针阀、电动球阀和高精度多通道控制器。此方案具有以下两项突出特点:

- (1) 可实现真空度在0.01~95kPa范围内的精密控制,具有小于±1%的波动率。具体实施是真空度小于10torr时的控制采用上游模式,即全开电动球阀后调节数控针阀;真空度大于10torr时的控制采用下游模式,即恒定数控针阀开度后调节电动球阀。同时,快速响应型阀门和控制器能保证温度变化对真空度的影响最小。
- (2) 配备的2通道集成式PID控制器,可实现对真空度、温度和转盘速度的同时控制。2个独立通道用于真空度和温度的测量、控制和显示,报警输出通道可用于控制转盘速度或旋转电机启停。



三、24位高精度多功能控制器

为实现真空微波干燥中真空度、温度和转速的精密控制,目前我们已经开发出 VPC-2021系列24位高精度可编程PID通用型控制器,如图2所示。此系列PID控制 器功能十分强大,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 (250V AC)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)。



四、步进电机驱动耐腐蚀高速数控针阀

为实现真空度控制过程中的高精度调节,我们在针阀基础上采用数控步进电机开发了一系列不同流量的电子针阀,如图3所示。此系列数控针阀的磁滞远小于电磁阀,并具有1秒以内的高速响应,特别是采用了氟橡胶(FKM)密封技术,使阀门具有超强的耐腐蚀性,详细技术指标如图4所示。



型号	NCNV-20	NCNV-120	NCNV-300	NCNV-1000
阀门类型	针阀			
阀芯节流内径	0.9mm	2.25mm	2.75mm	4.10mm
驱动器	双极式步进电机控制			
响应时间	0.8秒 (全开到全关)			
接口口径	G 1/8"			G 3/8"
流体	惰性气体和液体			
接触材料	不锈钢			
压力范围	-1 ~ 7 bar			-1 ~ 5 bar
最大流量	50L/min @7bar	240L/min @7bar	290L/min @7bar	600L/min @7bar
线性度	±2%	±0.1~1%	±0.2~5%	±11%
重复精度 (全量程)	±0.1%			
流量分辨率 (单步长)	0.1L/min	0.1~0.2L/min	0.2~0.75L/min	1L/min
位移分辨率 (单步长)	12.7 um	12.7 um	25.4 um	25.4 um
使用温度范围	0~84°C			
密封	标准FKM或其他密封件可选			
控制信号	直流: 0~10V (或 4~20mA)			
工作电源	直流: 24V (≤12W)			

图3 国产NCNV系列数控针阀

图4 国产NCNV系列数控针阀技术指标

NCNV系列数控针阀配备了一个步进电机驱动电路模块,给数控针阀提供了所需电源和控制信号,並以将直流信号转换为双极步进电机的步进控制,同时也可提供 RS485 串口通讯的直接控制,其规格尺寸如图5所示。

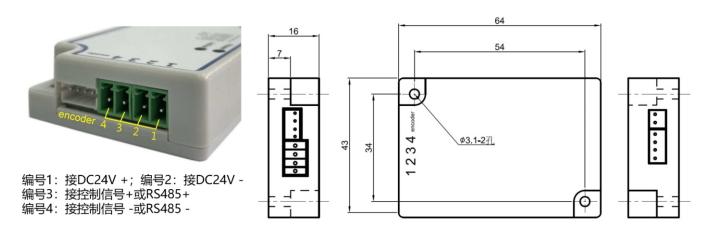
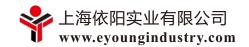


图5 NCNV系列数控针阀驱动模块及其尺寸

真空微波干燥中使用数控针阀时,也可采用开环控制方式将针阀安装来真空泵前端代替电动球阀,通过调节抽气流量来实现真空度的控制,但这种开环控制方式的稳定性差,难达到较高的稳定性要求。所以一般建议采用图1中的闭环控制方式,即在真空腔室上增加一路进气控制阀,通过同时调节进气流量和排气流量实现真空度的精密控制。



五、高速电动球阀

LCV-DS系列电动球阀是一款微型电动球阀,其执行器和阀体的一体化设计减小了外形体积,如图6所示,常安装在密封容器和真空泵之间用于调节排气速率。LCV-DS系列电动球阀的技术指标如图7所示。



图6 LCV-DS系列电动球阀

阀体口径	BSP/NPT1/4" 3/8" 1/2" 1" 1-1/4"		
最大工作压力	1.0MPa		
介质	液体,空气,水		
额定电压	DC 9-24V		
控制信号	0-10V 0-5V 4-20mA		
接线图	5 线控制带反馈信号		
开关时间	≤7S		
工作寿命	70000 times		
阀体材质	SS304 黄铜 PVC		
执行器材料	PPO 工程塑料		
密封材质	FKM & PTFE		
执行器旋转角度	90°		
最大扭力	3 N.M		
电线长度	0.5m		
环境温度	-15℃~60℃		
液体温度	2℃~90℃		
手动功能	No		
开关指示	Yes		
防护等级	IP67		
认证	LVD, EMC,ROHS		
堵转电流	500mA		

图7 LCV-DS系列电动球阀技术指标

不同于传统电动球阀, LCV-DS系列电动球阀具有以下突出特点:

- (1) 具有小于7秒的较快响应速度,特殊订制可将响应速度提高到1秒以内。
- (2) 密封性能良好, 防护等级IP67, 可用于低压和真空范围内的气流调节。
- (3) 采用铜加不锈钢齿轮设计,精度高输出力矩大。
- (4) 外型小巧,结构紧凑,安装简易,适用于设备的小型化。
- (5) 运行电流低,可以使用电池供电。
- (6) 寿命长达7万次到10万次。