

真空脉冲卤制工艺中的真空度和温度快速和精密控制技术

Rapid and Precise Control Technology of Vacuum Degree and Temperature in Vacuum Pulse Halogenation Process

摘要：卤制品作为传统美食，真空干燥工艺可有效改善加工品质和缩短生产时间而越来越在卤制品研制和生产工艺得到广泛应用。针对新型真空脉冲卤制工艺中对真空度这一重要工艺参数提出的快速和精密控制要求，本文详细介绍了完整的解决方案以及实施内容。

一、问题的提出

卤制品作为传统而又营养丰富的食品，深受大众喜爱，是休闲、旅游的等需要的即食食品。目前的卤制品制造工艺主要分为传统卤制法和真空干燥法两大类，而新型的真空脉冲卤制工艺更是具有突出的特点，如文献[1]中所介绍的那样，真空脉冲卤制与传统卤制相比，不仅可以缩短卤制时间，由原来的8小时缩短到80分钟，大大提高生产效率、保留食品风味，还可以使微生物的含量降低了4个数量级，产品安全性大幅提升。

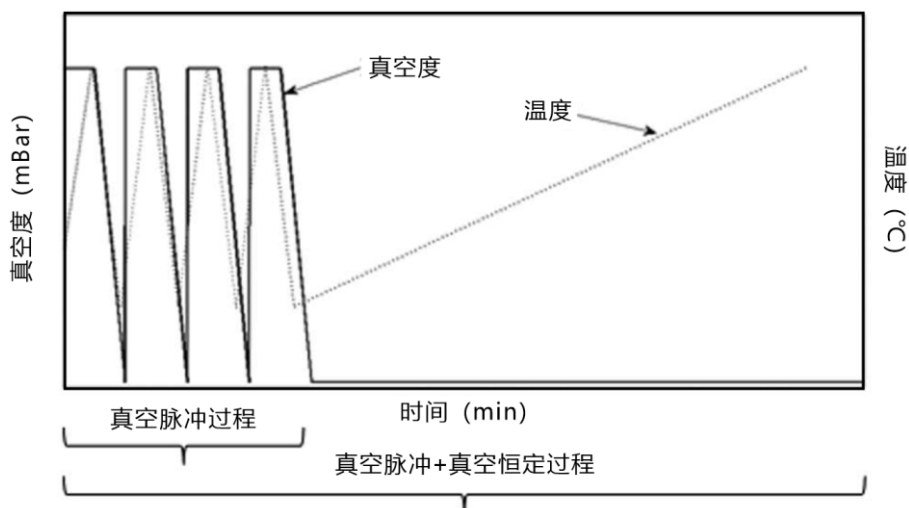


图1 真空脉冲卤制工艺过程中的真空度和温度变化示意图

典型的真空脉冲卤制工艺过程如图1所示，真空脉冲卤制工艺对设备的要求较高，对卤制工艺过程中的两个重要参数（真空度和温度）要求具有精密控制能力，具体要求如下：

(1) 可同时实现对真空度和温度的实时测量，并按照设定程序进行精密控制。由此控制器需具备至少两通道独立的信号采集和控制功能。

(2) 如图1所示，需要按照在设定的真空度和温度的上下限范围内以及相应的变化速度，对真空度和温度进行准确控制。这相当于要求控制器具备准确的程序曲线控制能力。

本文将针对上述要求，提出相应的解决方案，并将介绍可用于真空脉冲卤制工艺的集成式真空度和温度控制器，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，由此可很好的满足真空脉冲卤制工艺的精密控制要求。

二、真空脉冲卤制工艺控制方案

真空脉冲卤制工艺中需要对真空度和温度进行精密控制，具体的控制系统实施方案如图2所示。

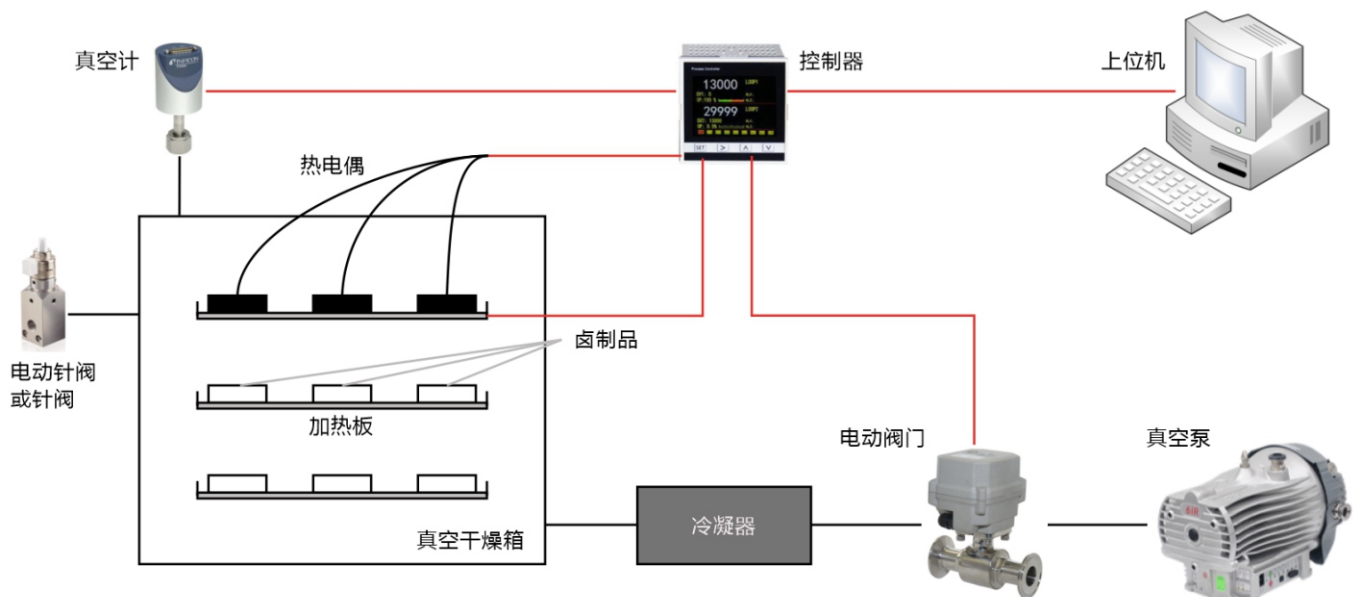


图2 真空脉冲卤制工艺控制系统结构示意图

在图2所示的真空度控制过程中，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0.1~1000mBar范围内的精密控制，全量程范围内具有小于 $\pm 1\%$ 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，可实现对真空度和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。

(3) 上位计算机可与控制器实时通讯，以设计、编辑、存储和调用各种真空度和温度控制工艺曲线。

三、24位高精度多功能控制器

为实现真空脉冲卤制工艺中真空度和温度的精密控制，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3所示。此系列PID控制器功能十分强大，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 (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)。

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4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5所示。

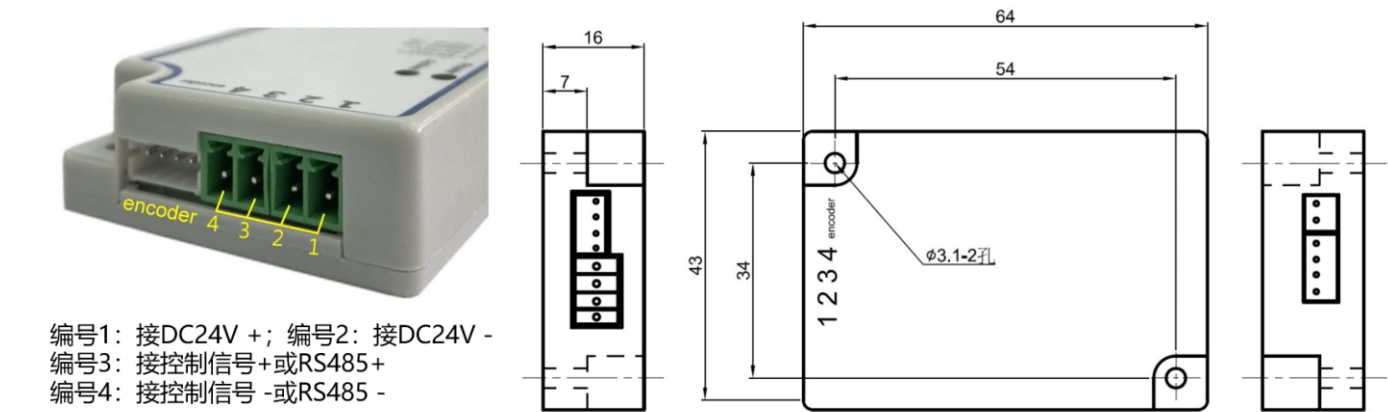


图4 NCNV系列数控针阀

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℃			
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5 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6所示。



编号1：接DC24V +；编号2：接DC24V -
编号3：接控制信号+或RS485+
编号4：接控制信号 -或RS485 -

图6 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7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8所示。



图7 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8 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。

六、参考文献

[1] 李海涛, 赵良忠, 范柳,等. 休闲豆干真空脉冲卤制工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17):7.