

真空低温烹饪装置中高精度 压力和温度控制的解决方案

Solution of High-Precision Pressure and Temperature Control in Sous Vide Device

摘要：真空低温烹饪法作为已经经典的高品质烹饪方法，并未得到广泛的应用，主要问题是无法针对各种食材进行真空度的准确设定和控制。本文将针对低温烹饪目前存在的真空度控制问题，提出相应的解决方案。解决方案的核心是采用动态平衡法进行真空压力控制，真正解决真空度精密控制难题，同时采用智能控制器兼顾温度控制，使得真空低温烹饪技术及其相应装置真正实用化，特别是满足大型低温烹饪装置和实验室研究设备的需求。

1. 真空低温烹饪技术现状和存在的问题

真空低温烹饪法 (Sous Vide) 作为一种经典的食品高品质烹饪方法，是基于气压越低加热介质的液体沸点越低这一基本物理原理，通过控制气压来实现加热介质较低的沸点温度，最终达到食品低温烹饪的目的。在食品发生热交换过程中，根据热力学定律，食品周围加热介质的压力、温度和体积彼此相关。温度的增加会使得压力升高和体积变大，并且压力的增加会使得沸点升高。因此，真正的真空低温烹饪法应该是能消除由于加热介质引起的压力以及控制体积变化，以能更好地了解和控制食品烹饪温度，即完美的实现真空低温烹饪，需要准确控制真空压力、温度和时间这三个变量。根据烹饪形式的不同，真空低温烹饪法可以分为几个大类：

1.1 密封袋浸泡式低温烹饪法

密封袋浸泡式低温烹饪法是将食品放入特制塑料袋后抽真空并密封，然后将此内部装有食品并具有一定真空度的密封袋浸泡在温度受控的水中进行烹饪，水温需要精确控制在55~70°C范围内的某个设定温度点上，由此通过水对密封袋内食品的低温加热，实现食品的真空低温烹饪。

密封袋浸泡式低温烹饪法具有较长的历史，因造价低和便于实现，是目前低温烹饪的主流技术，市场上也有众多相应产品和装置。尽管近年来也有不少技术试图进行改进，但绝大多数主要都聚焦在如何提高温度控制精度、改进搅拌加热均匀性和替换升级真空密封袋结构。

现有真空密封袋式低温烹饪法及其装置中，普遍存在以下几方面的不足：

(1)抽真空时真空密封塑料袋的内部气压并不准确已知，不同真空泵和不同抽气时间会造成密封袋内的气压差别很大，由此使得外部加热液体的温度设置很难达到准确，往往需要操作人员根据具体装置和食品最终口感来进行摸索和粗略确定。如果要进行不同食品的不同真空度和不同温度下的烹饪，这就显着尤为不便和难以准确把控，这是限制真空低温烹饪法在家庭中普遍应用的主要因素。

(2)密封袋抽取真空后，真空密封食品的塑料袋中并不是没有一点气体，残存气体会随着烹饪过程中的温度升高而使得真空塑料袋中的压力变大，密封袋产生膨胀，从而使得沸点温度逐渐升高，造成采用密封塑料袋的真空低温烹饪法无法准确确定合理的烹饪温度，很难形成真空度和加热温度的准确对应关系。

总之，这种烹饪过程中的真空度不稳定和难以准确控制问题，是目前真空低温烹饪法采用塑料密封袋形式存在的主要缺陷，因此也限制了真空低温烹饪法的普及和应用。

1.2 开放浸泡式低温烹饪法

为了解决真空密封袋浸泡式低温烹饪法存在的不足，近几年来开发了各种开放浸泡式低温烹饪法，即将食品直接放置在浸泡在水中，用传统烧、煮、炖方法和燃烧、电阻、电磁和微波等加热方式的条件下，增加了真空度控制技术，以真正有效和便捷的实现低温烹饪。

通过对众多相关技术的分析发现，现有各种开放浸泡式低温烹饪法和装置中，在真空度控制方面存在以下严重问题：

(1)大多数技术只是涉及了真空度控制的原理性方案，具体方案都是静态模式形式，仅对真空泵端的抽气流量进行调节和控制。在实际低温烹饪过程中如果应用这种静态控制模式，在控制真空泵抽气流量的同时，需要等待密闭烹饪容器的自然漏气来缓慢补充进气，这种静态控制模式会使得真空度达到设定值的过程非常缓慢，基本都无法实现对真空度的准确控制。

(2)实际低温烹饪中的真空度控制需要很快的速度，对于低温烹饪中所用的密闭式器皿，需要采用动态控制模式，即分别调节进气流量和出气流量才能实现真空度的快速准确控制，由此需要配备传感器、进出气调节装置和PID控制器。很多现有技术明显缺少这方面的内容，如有些技术没有使用真空度传感器，或没有将进气口和出气口独立分开，或没有对进气口和出气口进行独立控制，控制器也多为简单的开关控制而不是精密的PID控制。

(3)在有些低温烹饪过程中，如蒸米饭和煮粥等，必须控制执行不同的真空度变化速度程序，以避免真空度突变所带来的爆沸、液体溢出和噪音大等问题。这些真空度程序化控制方面的高级功能，现有技术都无法实现。

(4)在食物真空低温烹饪过程中，很容易有溢出的汤水进入抽真空管路和器件中而造成堵塞和出现故障。现有技术明显缺少这些防堵塞的技术手段，同时也缺少维护维修堵塞的结构设计。

总之，缺乏真空度精密控制技术以及合理的辅助功能和结构设计，是这种开放浸泡式低温烹饪技术和装置目前存在的主要缺陷，也限制了这种真正实用且有发展前景的真空低温烹饪法的普及应用。

1.3 蒸烤烘焙炸熏式低温烹饪法

除了上述烧、煮、炖形式的开放浸泡式低温烹饪法之外，通过增加真空度控制技术，也能在蒸、烤、烘、焙、炸和熏等常用烹饪方式中有效应用真空低温烹饪法。同时，真空度对面团制作中也起着重要作用，一定真空度的混合还可以使面团的微观结构更加连续和致密，并增加面条的断裂力和延伸率。

与上述开放浸泡式低温烹饪法一样，蒸烤烘焙炸熏式低温烹饪法现有技术存在同样的共性问题，同样缺乏动态真空度精密控制技术以及合理的辅助功能和结构设计。

1.4 腌制和卤制低温烹饪法

腌制和卤制是传统的常温常压下美食制作方法，采用真空低温烹饪技术可以大幅提高传统腌制和卤制方法的效率和效果，可使入味速度更快和更深。

与上述现有低温烹饪技术一样，腌制和卤制低温烹饪法的现有技术存在同样的共性问题，同样缺乏动态真空度精密控制技术以及合理的辅助功能和结构设计。另外，腌制和卤制低温烹饪法不同之处是需要采用真空脉冲技术，而真空脉冲技术更需要真空度的精确控制才能实现对不同食品的腌制和卤制。

从上述几种真空低温烹饪技术可以看出，应用和改进的重要方向之一就是解决真空度的精密控制问题，设法将目前的真空度静态控制技术升级为更准确的动态控制技术，而这恰恰是当前针对低温烹饪装置需要解决的难题之一。更有意义的是，真空度精密控制也是今后人们饮食习惯向着低温、低醇和低农残等方面发展的重要技术保障。

本文将针对真空低温烹饪目前存在的上述问题，提出相应的解决方案。解决方案的核心是采用动态平衡法进行真空压力控制，真正解决真空度精密控制难题，同时采用智能控制器同时兼顾温度的准确控制，使得真空低温烹饪技术及其相应装置真正实用化。

2. 解决方案

2.1 解决方案的工作原理

任何烹饪装置或器皿都可以设定为具有一定气密性的容器，其内部真空压力的控制可采用静态和动态两种控制模式，其基本原理如图 1所示。

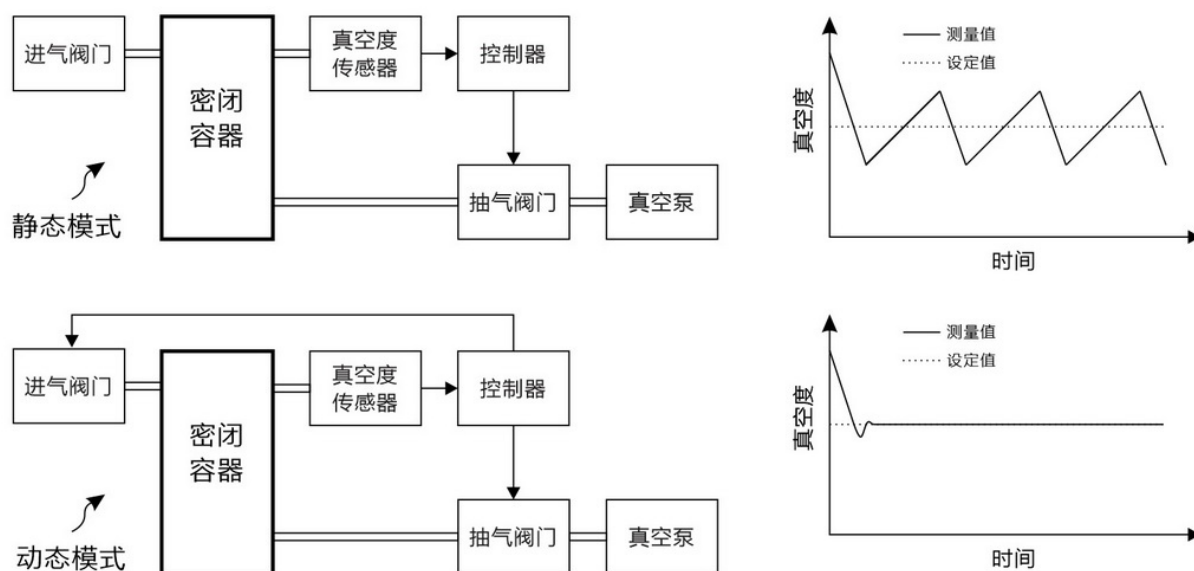


图1 真空度控制中的静态和动态模式示意图

(1) 静态模式

控制原理：采用静态模式对密闭容器真空度进行控制时，控制器首先关闭进气阀门并打开抽气阀门，开启真空泵对容器进行抽气，同时真空度传感器监测容器内的真空度变化。当真空度达到设定值时，关闭抽气阀门或真空泵，停止对密闭容器，理想情况下此时密闭容器内的真空度应保持恒定而实现真空度的恒定控制。如果要打开密闭容器进行操作，需要开启进气阀门通入外部大气。

控制结果：在实际真空度控制中，任何密闭容器都存在漏气现象。由于存在漏气，密闭容器的真空度会发生改变，漏气越严重这种变化速度越快，停止抽气后真空度会发生改变。当真空度由于漏气而超过设定值时，控制器自动再开启抽气阀门或真空泵进行抽气，达到设定值后停止抽气，由此循环往复使真空度在设定值上下波动，如图1所示。

适用范围：静态模式是一种开关式简单控制形式，因此静态模式比较适用于漏气比较严重、低真空度且对控制精度要求不高的情况，特别是无法应用于密闭容器内存在热源和内部物体会产热气体时的真空压力控制。

(2)动态模式

控制原理：动态模式是静态模式的一种自动化升级，在静态模式基础上给控制器增加了PID控制算法，并将静态模式中的进气和抽气阀门改变为开度可渐变控制的数字阀门，PID控制器根据真空度传感器采集数据和设置值，自动调节进气阀和出气阀开度，使得进气与出气流量达到动态平衡，由此实现真空度的准确控制。

控制结果：动态模式的真空度控制精度和速度要远优于静态模式，采用PID参数自整定功能可以根据设定值自动确定控制参数，采用不同精度的真空度传感器和PID控制器，可以实现高精度和高稳定性的真空度控制，如图1所示。

适用范围：动态模式是一种数字化的高级控制形式，控制过程中无需考虑密闭容器的漏气速度，可以覆盖整个真空度范围的控制，对于小体积密闭容器的真空度控制具有很高的相应速度，更适用于密闭容器内存在热源和内部物体会产热气体时的真空度控制，而且PID控制器还可以同时兼顾各种加热方式的温度控制。

2.2 解决方案

真空低温烹饪法解决方案基于上述的动态模式的真空度控制方法，并考虑了其他实用性功能。解决方案的整体结构如图2所示。

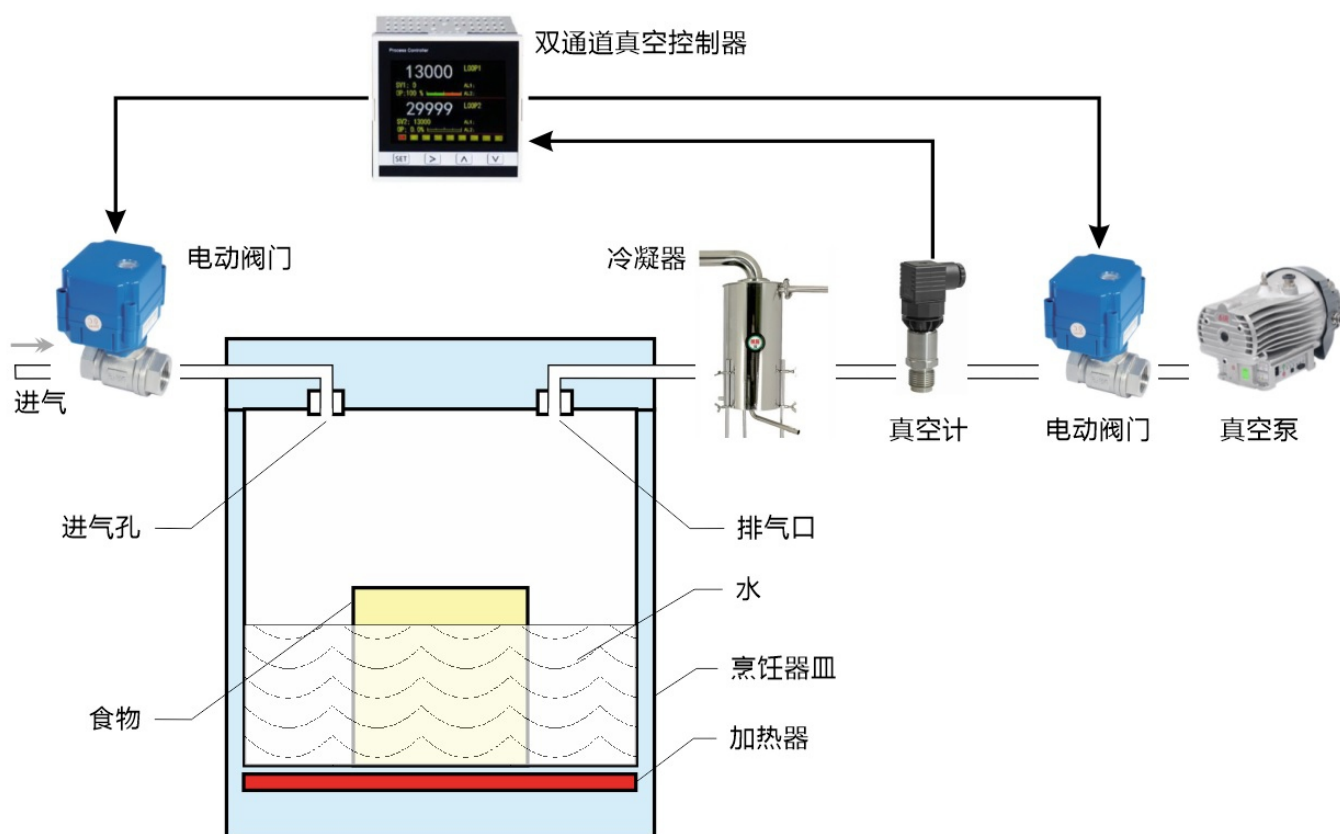


图2 真空低温烹饪压力控制系统结构示意图

在图2所示的解决方案中，使用真空泵作为真空源，进气和排气分别通过卫生级电动阀调节进气和排气流量。采用一个双通道的真空控制器来采集烹饪器皿中的气压信号，并根据所采集的气压信号来快速控制两个电动阀的开度，使烹饪器皿内的压力快速恒定在设定值上。为了避免高温蒸汽对压力传感器和电动阀的影响，在排气口处配置了一个冷凝器以降低排气气体温度。

在真空低温烹饪中，另一个重要控制参数是温度，且真空控制通常伴随着温度控制功能一起使用。

本解决方案中的真空控制器可以很容易增加温度控制功能，只需在图2所示的PID控制器中增加一路用于温度控制，由此可实现真空度和温度的同时控制。

温度和真空压力控制的工作过程完全一样，可以根据需要按照图3所示的设定曲线进行程序设定，只是设定量分别是温度和真空度。

本解决方案的真空压力精密控制装置，主要特点就是可以实现密闭容器内真空度的快速和准确控制，此特点非常便于满足低温烹饪中对各种真空度复杂变化的要求，最典型的应用是可以实现精确的真空脉冲控制，即控制真空度严格按照设定的脉冲幅度、脉冲周期和不同斜率进行变化，可完美实现不同品类食物的低温烹饪、不同咖啡和茶叶的快速冷冲泡、以及不同食材的腌制和卤制等。

真空脉冲控制方法的使用首先是要在真空度控制器中输入控制程序，典型的真空脉冲控制程序如图4所示。按照实际烹饪、冲泡和腌制卤制等应用中的真空脉冲过程要求，真空脉冲控制程序一般包括脉冲过程、恒定过程和脉冲恒定过程的组合形式，不同食材和烹饪过程需要不同的真空脉冲参数和程序。在实际应用中，将设计好的控制程序输入到真空度控制器后既可自动运行，也可调用存储在真空度控制器中验证过的真空脉冲控制程序。

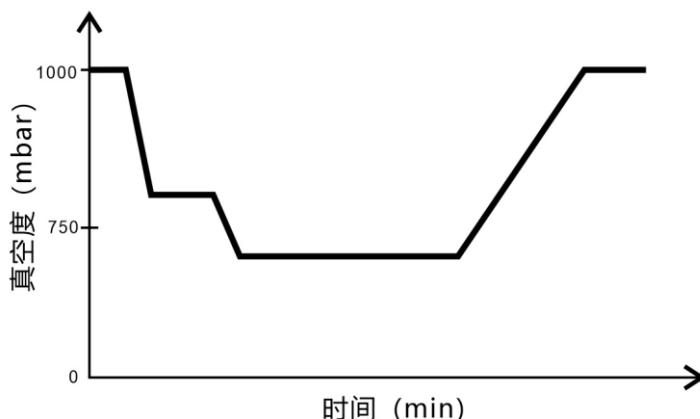


图3 真空度程序控制设定曲线

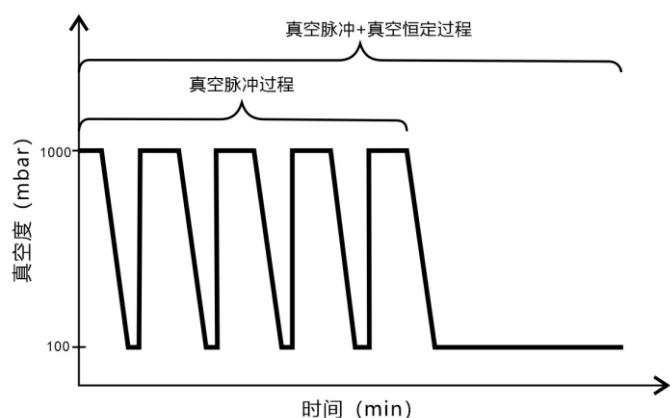


图4 真空脉冲控制设定曲线

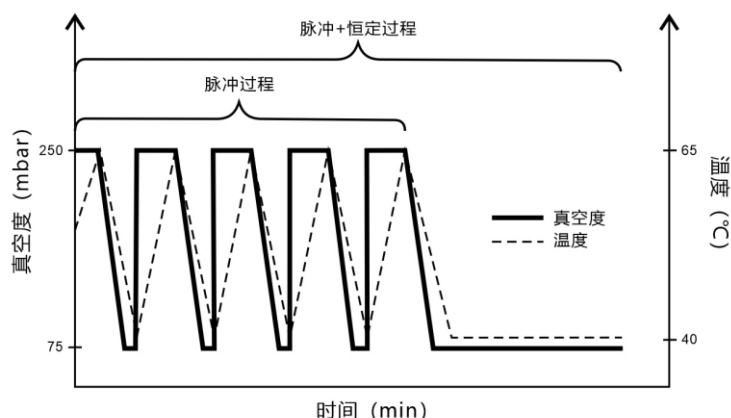


图5 快速冷泡过程中的真空度和温度控制设定曲线

真空低温烹饪真空度和温度同时控制的典型应用之一是咖啡和茶叶的快速冷泡过程，冷泡过程采用真空脉冲法。由于在真空度变化过程中，冲泡水的沸点会随之发生变化，因此在冷泡过程中需要设置精确的真空度和温度控制程序才能在较短时间内得到满意的饮品。典型的冷泡控制程序如图5所示。

3. 总结

真空低温烹饪中的关键技术是准确的真空控制，本文提出的解决方案可以完美解决真空压力控制问题，非常适用于各种大型低温烹饪装置和实验室研究设备。由于真空度的精确、快速和可编程控制，此解决方案可在多种食品低温食品烹饪、饮品冲泡和腌制卤制中得到应用。