真空解冻过程中高精度真空度控制的解决方案

Solution of High Precision Vacuum Control in Vacuum Thawing Process

摘要：为了解决目前各种真空冷冻过程中存在的真空压力还是人工手动调节，无法进行可编程准确自动控制的问题，本文提出了具体解决方案。解决方案的基本原理是根据动态平衡法，具体实现是依据不同的真空压力设定值分别采用电动针阀调节进气流量和电动球阀调节排气流量，最终实现对各种冻品的解冻真空度在任意设定点上进行准确的程序控制，由此使真空解冻技术更具有广泛的适用性和品质保证能力。

1. 问题的提出

随着经济的发展和人民生活水平的提高，食品生产、储运和加工领域内技术发展越来越受到关注。真空解冻（VT：Vacuum Thawing ）以及衍生出的真空升华-复水解冻（VSRT：Vacuum Sublimation - Rehydration Thawing）技术就是这类新型食品加工技术之一。

真空解冻技术是利用真空状态下的压力不同和水的沸点不同的特性，水在真空室中沸腾时形成的水蒸气，在遇到温度更低的冻结食品时就在其表面凝结成水珠，蒸汽凝结时所放出的潜热，被冷冻食品吸收，最终使冻品温度升高而解冻。

与其他解冻方法相比，真空解冻具有解冻速率快，解冻效果均匀，解冻温度低等优点。且解冻过程中冻品处于真空低氧环境，可有效抑制食品的氧化和一些好氧性微生物的繁殖，减少品质损失。

随着技术进步，目前又出现了一种基于真空解冻技术发展起来的新方法：真空升华-复水解冻法。该方法的最大特点是可推广应用到如水果、蔬菜、熟食、水产品等其他冷冻食品的解冻过程。

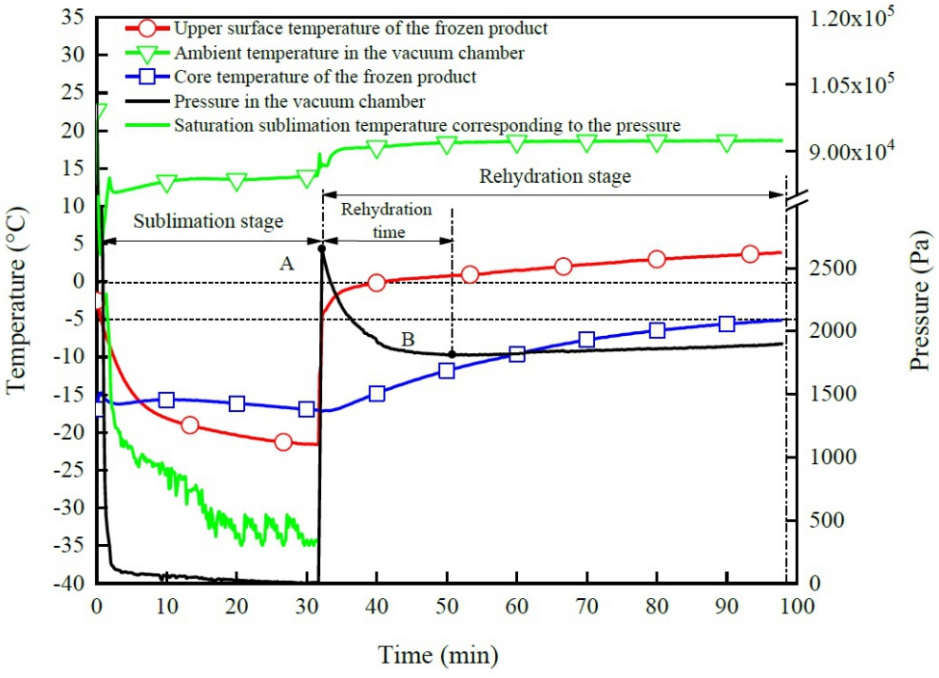

图1 真空升华-复水解冻过程中真空室内压力温度和冻品温度的变化

总之，真空解冻以及真空升华-复水解冻法的重要优势之一是解冻参数（温度和真空度）可以根据冻品特性和能量消耗进行优化，从而使得解冻达到最佳状态。以真空升华-复水解冻过程为例，其解冻过程中相应的温度和压力变化如图1所示。

从图1所示的解冻过程可以看出压力变化有以下几方面的特点：

（1）整个解冻过程由升华和复水两个阶段构成，在两个阶段过程中冻品的核心和表面温度要求不同，由此要求两个阶段的真空度需要控制在不同水平上。总之，准确控制真空度的目的是为了保证解冻过程中冻品表面温度始终按照设计要求进行变化。

（2）对于不同的冻品，解冻过程中的温度变化要求并不相同，因此就需要对不同设定真空度进行准确控制。

图2所示是一个典型的真空升华-复水解冻装置的结构示意图。此真空解冻装置非常具有代表性，体现了目前实验室和工业生产中大多数真空解冻装置的压力控制方面基本还处于比较粗糙的手动调节水平，无法进行不同设定压力下的准确控制，更不能进行全自动化的可编程程序控制。

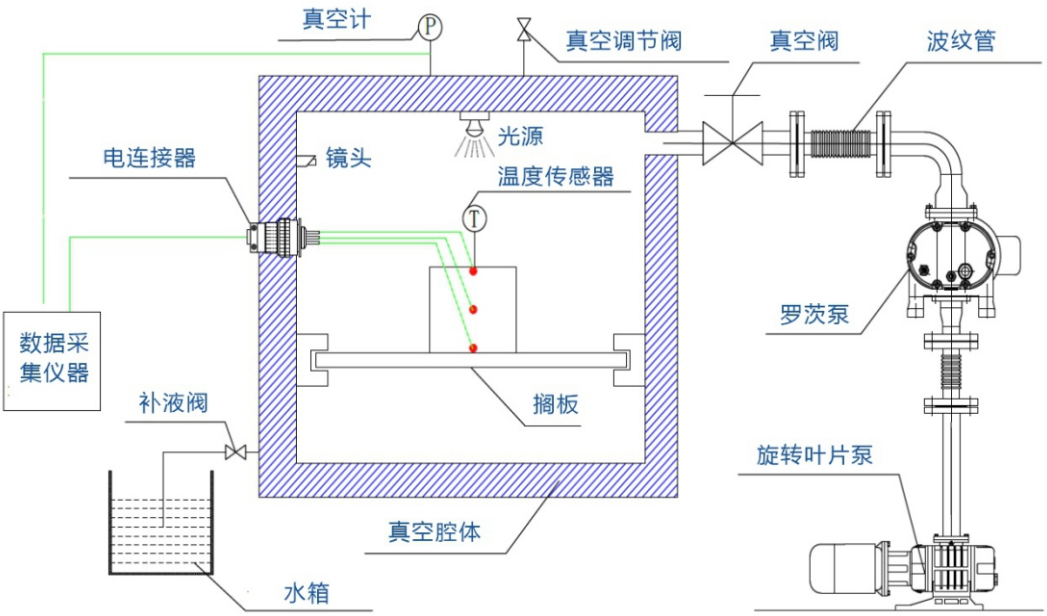

图2 真空升华-复水解冻装置示意图

为了解决真空冷冻过程中存在的真空度无法可编程自动准确控制的问题，本文提出了具体解决方案。解决方案的基本原理是根据动态平衡法，根据不同的真空压力设定值分别采用电动针阀调节进气流量和电动球阀调节排气流量，最终实现对各种冻品的解冻真空度在任意设定点上进行准确的程序控制，由此使真空解冻技术更具有广泛的适用性和品质保证能力。

2. 真空压力控制的动态平衡法原理

在真空压力控制过程中，常用的精密控制方法是动态平衡法，如图3所示，其基本原理是基于进气流量与排气流量达到动态平衡，由此实现不同真空压力设定值的准确控制。

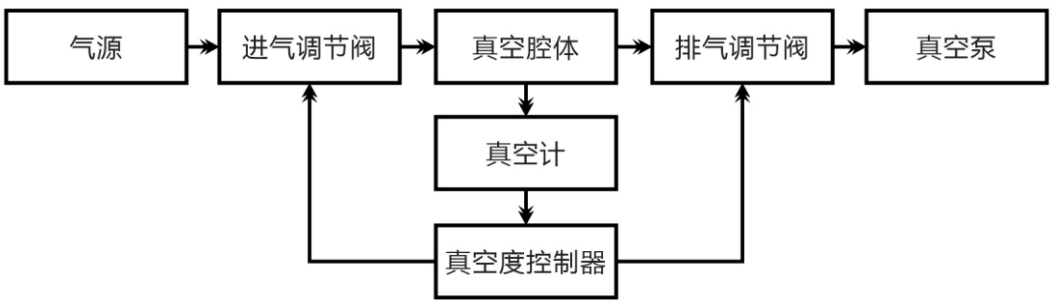

图3 真空压力控制的动态平衡法原理示意图

3. 解决方案

为了实现真空解冻装置中的真空度自动精密可编程控制，基于上述动态平衡法，本文提出了相应的解决方案，即在图2所示的现有真空解冻装置上，增加了真空度控制系统，如图4所示。

真空控制系统的工作流程是双通道真空压力控制器根据真空度设定值或设定程序，与采集自真空计的信号进行比较。控制器根据比较后的差值采用PID算法计算后输出控制信号，控制信号驱动电动针阀或电动球阀动态调节进气或排气流量使得真空腔体内的真空度发生改变，这使得真空计测量值快速接近设定值实现自动控制。解决方案中的真空度控制系统各组成部分的说明如下：

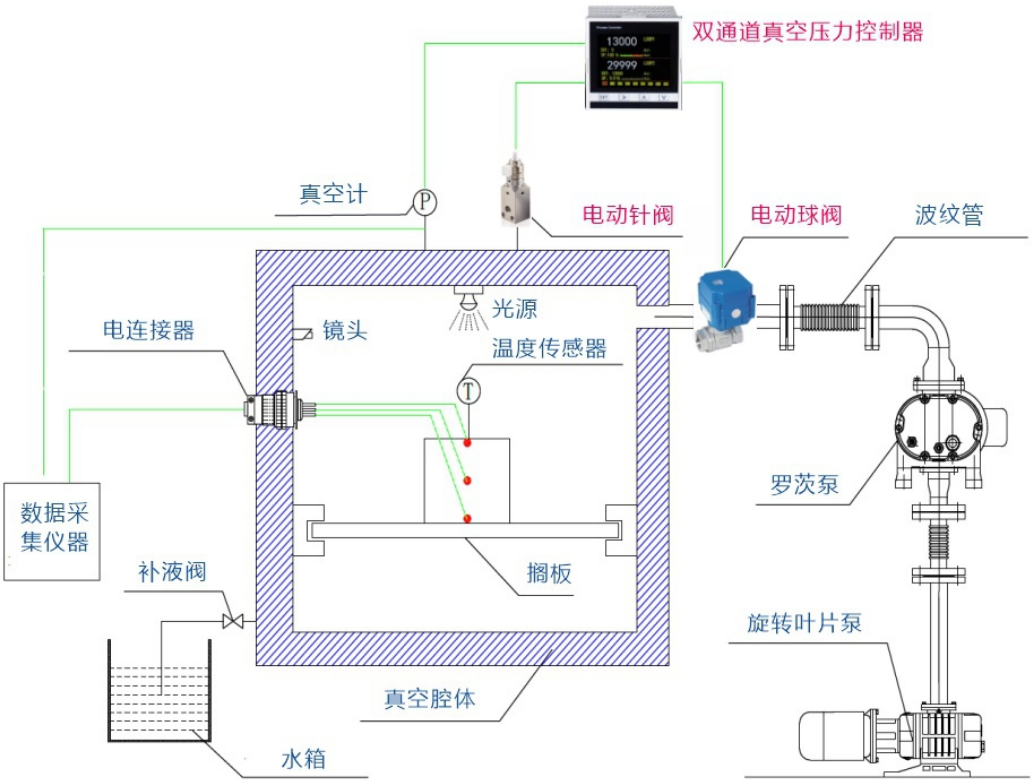

图4 真空解冻装置及其真空度控制系统结构示意图

（1）尽管可以采用现有的真空计，但为了保证真空度的控制精度，建议真空计采用精度较高的薄膜电容真空计，其任意真空度下的测量精度可优于0.3%。另外，为了满足各种冻品的真空解冻，需要在较宽泛的真空度范围进行进行真空度控制，所以建议采用两只不同量程的电容真空计予以覆盖，推荐的两个真空计的量程分别是1Torr和10Torr。

（2）真空度控制系统采用了电动针阀和电动球阀分别调节进气和排气流量，其作用是高真空区间调节电动针阀而固定电动球阀开度，低真空阶段调节电动球阀而固定电动针阀开度，同时结合高低量程的两个真空计，可实现全真空度量程范围内优于1%的控制精度。另外，为保证控制精度和真空度稳定性，电动针阀和电动球阀需要满足一定的漏率以及响应速度要求。

（3）真空控制系统中的另外一个关键仪表是高精度的双通道真空压力控制器，其独立的两路PID控制通道分别与1Torr真空计和电动针阀组成高真空控制通道，与10Torr真空计和电动球阀组成低真空控制通道。重要的是每个独立通道都是24位AD、16位DA和0.01%最小输出百分比，由此可保证真空压力的精密控制。另外，此控制器具备PID参数自整定功能可快速实现对PID参数的合理选择，配备的标准RS485通讯接口和计算机软件，便于与上位机通讯和采用上位机进行控制参数设置、运行操作、过程变量采集显示存储及调用。

总之，本文提出的真空度控制解决方案，可很好的满足真空解冻过程所有对真空度自动和准确控制要求，非常适应于实验室真空解冻工艺研究和大量冻品处理的真空解冻设备。